جامعة القاهرة
كلية الآثار
قسم ترميم الآثار

# دراسة علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية بمدينة القاهرة تطبيقاً على إحدى المآذن الأثرية المختارة

بحث مقدم لنيل درجة الدكتوراه فى ترميم وصيانة الآثار
كلية الآثار- جامعة القاهرة ( فرع الفيوم )

إعداد
**محمد كمال خلاف**
المدرس المساعد بقسم ترميم الآثار
كلية الآثار - جامعة القاهرة ( فرع الفيوم )

إشراف
**أ.د/ فاطمة محمد حلمى**
أستاذ دراسة مواد الآثار وصيانتها
ورئيس قسم الترميم ( سابقاً )
كلية الآثار - جامعة القاهرة

**أ. م. د/جمال عبدالمجيد محجوب**
أستاذ ترميم الآثار المساعد
ووكيل كلية الآثار لشئون التعليم والطلاب
جامعة القاهرة ( فرع الفيوم )

**أ. م. د/ سعاد محمد حسن**
أستاذ الآثار الإسلامية المساعد
كلية الآثار - جامعة القاهرة

٢٠٠٤ م

بسم الله الرحمن الرحيم

" فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ "

صدق الله العظيم

" سورة الرعد آية رقم (١٧) "

# إهــداء

إلى والدى ووالدتى

إلى أسرتى الصغيرة

زوجتى وابنتى

# شكر وتقدير

**الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد أشرف المرسلين وبعد ،،**

أتقدم بوافر شكرى وتقديرى وإمتنانى لمن اسهموا فى إعداد هذه الرسالة ، وعرفاناً بالجميل لهؤلاء الأساتذة الإجلاء الذين بذلوا الجهد فى سبيل العلم والمعرفة ولا أجد فيهم من بخل بأفكاره وعلمه ووقته فى تقديم المساعدة ، فكانت توجيهاتهم وملاحظاتهم محل تقدير وكان لها أكبر الأثر فى ظهور هذه الرسالة إلى النور ، وأخص بالذكر اساتذتى الإجلاء ...

**الأستاذة الدكتورة / فاطمة محمد حلمى** أستاذ دراسة مواد الآثار وصيانتها ورئيس قسم الترميم ( سابقاً) كلية الآثار – جامعة القاهرة والمشرفة على الرسالة ، على ما قدمته من جهد وعمل جليل وعلى ما خصصته لى من وقت وما أولته لى من اهتمام ورعاية ومتابعة دقيقة ومستمرة لكل أجزاء الرسالة كان لها ابلغ الأثر فى إخراج الرسالة إلى النور لها منى عظيم وعميق الشكر ووافر الاحترام والتقدير ، كما أتوجه بالشكر والتقدير إلى **الدكتور / جمال عبد المجيد محجوب** أستاذ ترميم الآثار المساعد ووكيل كلية الآثار لشئون التعليم والطلاب – جامعة القاهرة ( فرع الفيوم ) والمشرف على الرسالة على ما بذله من جهد وما أسداه من ملاحظات وتوجيهات ونصائح كان لها اثر بالغ فى تكامل أجزاء الرسالة وإعدادها فى أفضل صورة فله منى جزيل الشكر ووافر الإمتنان ، كما أتوجه بخالص شكرى وتقديرى إلى **الدكتورة / سعاد محمد حسن** أستاذ الآثار الإسلامية المساعد بكلية الآثار– جامعة القاهرة والمشرفة على الرسالة على متابعتها الدقيقة والمستمرة أثناء إعداد الرسالة وما بذلته من جهد وتوجيه فى إعداد الجانب الأثرى بالرسالة فلها منى عظيم الشكر ووافر التقدير و يدفعنى الواجب والعرفان بالجميل أن أتوجه بعميق الشكر ووافر الاحترام والتقدير إلى **الأستاذ الدكتور / شريف أحمد مراد** الأستاذ بقسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة – جامعة القاهرة على ما بذله من جهد وما خصصه لى من وقت وإشراف واهتمام وتوجيه ومتابعة دقيقة ومستمرة أثناء إعداد الدراسة الإنشائية الخاصة بالتطبيق العملى بالرسالة ثم مراجعتها بكل دقة وعناية لتخرج بصورة متكاملة أدت إلى إثراء الجانب التطبيقى بالرسالة فله منى بالغ الشكر وعظيم الاحترام والتقدير كما أتقدم بخالص شكرى وتقديرى إلى **الدكتور / محمد عبد الدايم** بمركز بحوث وتطوير الفلزات على ما بذله من وقت وجهد أثناء إعداد الرسالة وإخراجها إلى النور فله منى وافر الشكر والتقدير وأتقدم بوافر الشكر والتقدير إلى **المهندس / محمد عبد المولي و المهندس / رضا على** على ما بذلاه من جهد ووقت وعمل جليل ومساعده صادقة ومثمرة أثناء إعداد الرسالة وإخراجها فى أفضل صورة فلهما منى عميق الشكر وعظيم الإمتنان والتقدير ، كما أتوجه بالشكر والعرفان والتقدير إلى **الأستاذ / أحمد أمين** المعيد بقسم الآثار الإسلامية– كلية الآثار – جامعة القاهرة ( فرع الفيوم ) على ما خصصه لى من وقت وما بذله من جهد وتعب أثناء إعداد الرسالة فله منى وافر الشكر والتقدير ، كما أتوجه بخالص شكرى وعظيم تقديرى إلى **الأستاذ / عزت محمد** الأثرى بالمجلس الأعلى للآثار لملازمته للباحث أثناء إجراء التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى وما قدمه من مساعدات صادقة وإمداد بالمادة العلمية وتسهيل العمل بالموقع وتذليل للصعوبات حتى تمت أعمال العلاج والترميم والصيانة للمئذنة فله منى وافر الشكر وعظيم الإمتنان والتقدير .

# فهرس الرسالة



| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| إهداء | |
| شكر وتقدير | |
| فهرس الصور | |
| فهرس الأشكال | |
| فهرس اللوحات | |
| فهرس الجداول | |
| فهرس الخرائط | |
| مقدمة الرسالة | أ |
| ملخص الرسالة | ب – ح |
| الأعمال السابقة | ط – ذ |
| الهدف من الرسالة | ض |
| **الفصل الأول**<br>**دراسة أصل ونشأة المآذن الأثرية وتطورها المعمارى** | |
| **أولاً** : الأسماء التى اطلقت على المئذنة | ١ |
| **ثانياً** : نشأة المآذن الأثرية وبداية ظهورها فى العمارة الإسلامية | ٢ |
| **ثالثاً** : الأغراض الوظيفية للمآذن الأثرية | ٤ |
| **رابعاً** : الأصل المعمارى للمآذن الأثرية فى مصر | ٥ |
| **خامساً** : النظام الإنشائى للمآذن الأثرية والعناصر المكونة لها | ٦ |
| أ- موقع المئذنة بالنسبة للمنشأ الأثرى | ٦ |
| ب – طبيعة المئذنة من حيث اتصالها أو انفصالها عن المنشأ الأثرى | ٨ |
| جـ – العناصر المكونة للمآذن الأثرية | ٨ |
| (١) قواعد المآذن | ٨ |
| (٢) مناطق الانتقال بالمآذن | ٨ |
| (٣) الدخلات والفتحات فى المآذن | ١٠ |
| (٤) القمم التى تتوج مآذن القاهرة الأثرية | ١٠ |
| (٥) الشرفات ( الدورات – الأحواض) | ١٣ |
| **سادساً** : تطور المآذن الأثرية فى مصر خلال العصور الإسلامية المختلفة | ١٣ |
| (١) المآذن فى العصر الطولونى | ١٣ |
| (٢) المآذن فى العصر الفاطمى | ١٤ |
| (٣) المآذن فى العصر الأيوبى | ١٩ |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| (٤) المآذن فى العصر المملوكى البحرى | ٢٠ |
| (٥) المآذن فى العصر المملوكى الجركسى | ٢٢ |
| (٦) المآذن فى العصر العثمانى | ٢٤ |
| **سابعاً** : التأثيرات الفنية الوافدة على المآذن الأثرية فى مصر | ٢٥ |
| **ثامناً** : زخرفة المآذن الأثرية | ٢٨ |
| **الفصل الثانى**<br>**دراسة جيولوجية مدينة القاهرة و مواد بناء المآذن الأثرية** | |
| أولاً : جيولوجية مدينة القاهرة | ٣١ |
| ١- الوصف العام لجبل المقطم | ٣١ |
| ٢- التتابع الطبقى العام لجبل المقطم | ٣٥ |
| ٣- التتابع الطبقى الصخرى بالهضاب الثلاثة لجبل المقطم | ٣٩ |
| **ثانياً** : تطور استخدام مواد بناء المآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة | ٤١ |
| ١- الأحجار الجيرية | ٤٢ |
| • أنواع الأحجار الجيرية | ٤٣ |
| • مصادر الأحجار الجيرية المستخدمة في بناء المآذن الأثرية بمدينة القاهرة | ٤٥ |
| • الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأحجار وعلاقتها بتلف المآذن الأثرية | ٤٨ |
| • الإجهادات المسموح بها فى الإنشاء | ٥٦ |
| • مرونة الصخر | ٥٦ |
| ٢- الطوب المحروق | ٥٧ |
| • صناعة الطوب المحروق (الآجر) المستخدم فى بناء المآذن الأثرية | ٥٨ |
| • بناء المآذن الأثرية بالطوب المحروق (الآجر) | ٥٩ |
| ٣- الرخام | ٥٩ |
| • مصادر الرخام المستخدم فى المآذن الأثرية | ٦٠ |
| • أنواع الرخام الموجود فى مصر | ٦٥ |
| ٤- الأخشاب | ٦٧ |
| ٥- استخدام النحاس فى صناعة أهله المآذن الأثرية | ٧٠ |
| ٦- استخدام ألواح الرصاص المعدنية فى تغشيه قمم المآذن الأثرية | ٧١ |
| ٧- المونات المستخدمة فى بناء المآذن الأثرية | ٧٢ |
| **الفصل الثالث**<br>**دراسة عوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية** | |
| أولاً : العوامل الفيزيوكيميائية Phasyio-Chemical Factors | ٧٧ |
| ١- الرطوبة Moisture | ٧٧ |
| ٢- التغيرات فى درجات الحرارة فى الجو المحيط بالمآذن الأثرية | ٨١ |

| رقم الصفحة | الموضوع |
|---|---|
| ٨٦ | ٣- المياه الأرضية Ground Water |
| ٩٠ | ٤- تبلور الأملاح Salt Crystallization |
| ٩٣ | ٥- تأثير الرياح Effect of Wind |
| ٩٤ | ٦- التلوث الجوى Air Pollution |
| ١٠١ | **ثانياً** : التربة وتداعياتها وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية |
| ١٠١ | • تعريف التربة |
| ١٠١ | • منشأ التربة |
| ١٠٢ | • تصنيف التربة Classification of Soil |
| ١٠٢ | • التدرج الحبيبى للتربة (نسيج التربة) Soil Texture |
| ١٠٢ | • قوام التربة Soil Consistency |
| ١٠٢ | • حدود أتربرج Atterberg Limits |
| ١٠٣ | • التربة ذات المشاكل Difficult Soil |
| ١٠٤ | • مقاومة القص للتربة |
| ١٠٥ | • انضغاطية وتشكل التربة |
| ١٠٦ | • تأثير الهبوط على المآذن الأثرية |
| ١٠٧ | • أسباب عدم اتزان المآذن الأثرية |
| ١٠٧ | **ثالثاً** : الأحمال وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية |
| ١٠٨ | **رابعاً** : الكوارث الطبيعية |
| ١٠٨ | (١) تأثير الزلازل على المآذن الأثرية |
| ١١٣ | (٢) مخاطر السيول |
| ١١٤ | **خامساً** : التلف الميكروبيولوجى Micro-Biodeterioration |
| ١١٦ | (١) البكتريا Bacteria |
| ١١٧ | (٢) الفطريات Fungi |
| ١١٨ | (٣) الطحالب Algae |
| ١١٨ | (٤) الأشنة Lichens |
| ١١٩ | **سادساً** : التلف البشرى |
| ١١٩ | (١) الأخطاء التصميمية والإنشائية فى عمليات بناء المآذن الأثرية |
| ١٢٠ | (٢) الترميم الخاطئ |
| ١٢٠ | (٣) حركة النقل والمواصلات |
| ١٢١ | (٤) الأعداد الكبيرة للسائحين والزائرين |
| ١٢١ | (٥) التعديات و الإشغالات للمآذن الأثرية وعدم صيانتها دورياً |

| الموضوع | رقم الصفحة |
| --- | --- |
| **الفصل الرابع**<br>**دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية** | |
| أولاً : الدراسات الأولية التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية | ١٢٢ |
| ١- الدراسة التاريخية الأثرية | ١٢٢ |
| ٢- الأعمال السابقة | ١٢٢ |
| ٣- التسجيل والتوثيق الأثرى للوضع الراهن للمآذن الأثرية | ١٢٢ |
| ٤- الرصد المساحي وتحديد مدى رأسية واتزان المآذن الأثرية | ١٢٣ |
| ٥- الفحوص والتحاليل لمواد بناء المآذن الأثرية | ١٢٥ |
| ٦- دراسات التربة والأساسات | ١٢٧ |
| ٧- التحليل الإنشائى للمآذن الأثرية باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلى | ١٢٨ |
| **ثانياً** :-عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية | ١٢٩ |
| (١) خفض منسوب المياه الأرضية | ١٢٩ |
| (٢) الترميم والتدعيم الإنشائى للمآذن الأثرية | ١٣١ |
| أ- علاج التربة ذات المشاكل المقام عليها المآذن الأثرية | ١٣٤ |
| ب- تدعيم وتقوية الأساسات | ١٣٧ |
| (٣) الترميم المعمارى للمآذن الأثرية | ١٤٠ |
| ١- مصادر التسجيل والتوثيق التى يمكن الاستعانة بها فى الترميم المعمارى للمآذن الأثرية | ١٤٢ |
| ٢- أعمال الترميم المعمارى للمآذن الأثرية | ١٥١ |
| أ- استكمال الأجزاء الناقصة والمفقودة من التكوين المعمارى للمآذن الأثرية | ١٥١ |
| ب- أعمال الفك وإعادة البناء للمآذن الأثرية | ١٥٣ |
| جـ - استبدال الكتل الحجرية التالفة للمآذن الأثرية | ١٥٨ |
| د- استكمال الأجزاء الناقصة الحاملة للزخارف والنقوش | ١٥٨ |
| (٤) الترميم الدقيق للمآذن الأثرية | ١٥٨ |
| أولاً : عمليات التنظيف لأسطح المآذن الأثرية | ١٥٨ |
| • أهمية عملية التنظيف | ١٥٩ |
| • اختيار طريقة التنظيف | ١٥٩ |
| • الطرق المستخدمة للتنظيف | ١٥٩ |
| **ثانياً** : العزل الأفقى لأساسات وجدران المآذن الأثرية | ١٦٤ |
| **ثالثاً** : طرق استخلاص وإزالة الأملاح من جدران المآذن الأثرية | ١٧٠ |
| **رابعاً** : تقوية وعزل أسطح المآذن الأثرية | ١٧٣ |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| **خامساً** : عمليات ترميم العراميس (الفواصل) الأفقية والراسية بين كتل الأحجـــار فى المآذن الأثرية | ١٧٧ |
| **الفصل الخامس**<br>**التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى**<br>**بمسجد الإمام الليث ، أثر رقم (٢٨٦)** | |
| (١) الدراسات الأولية التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة | ١٨١ |
| أولاً : الدراسة التاريخية والوصف الأثرى والمعمارى للمئذنة | ١٨١ |
| **ثانياً**: التسجيل والتوثيق الأثرى | ١٨٥ |
| (١) التسجيل والتوثيق الفوتوغرافى | ١٨٥ |
| (٢) التسجيل والتوثيق المعمارى | ١٨٩ |
| (٣) التسجيل والتوثيق المعمارى لمظاهر التلف (الوضع الراهن للمئذنة) | ١٨٩ |
| **ثالثاً** : الرصد المساحى لمئذنة يشبك من مهدى | ١٩٧ |
| **رابعاً** : مراقبة مدى التغير فى ميول المئذنة ومدى ثباتها مساحياً | ٢٠٣ |
| **خامساً** : دراسة الحجر الجيرى المستخدم لبناء مئذنة يشبك من مـــهدى بواســطة الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope | ٢٠٨ |
| **سادساً** : دراسة وفحص الحجر الجيرى بمئذنة يشـــبك مـــن مـــهدى باســتخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] | ٢١٢ |
| **سابعاً** : تحليل ودراسة الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى باســـتخدام وحــدة [EDX] الملحقة بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] | ٢١٣ |
| **ثامناً** : تحليل ودراسة مواد البناء والأملاح بواسطة حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction | ٢١٤ |
| **تاسعاً** : تعيين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد بناء المئذنة | ٢٢١ |
| ١- تعيين الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٢١ |
| ٢- تعيين الخواص الميكانيكية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٢ |
| ٣- قياس محتوى الرطوبة بالحجر الجيرى للمئذنة | ٢٢٣ |
| **عاشراً** : الدراسة الميكروبيولوجية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٣ |
| **حادى عشر** : دراسات التربة ورصد منسوب الميـــاه الجوفيـــة والكشـــف عـــن الأساسات | ٢٢٥ |
| (١) دراسات التربة | ٢٢٥ |
| أ- أعمال الجسات والاختبارات المعملية | ٢٢٥ |
| ب- طبيعة التربة وتتابع طبقاتها بموقع المئذنة | ٢٢٥ |
| (٢) قياس منسوب المياه الجوفية فى موقع المئذنة بالبيزوميترات | ٢٣٠ |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| (٣) الكشف عن اساسات المئذنة | ٢٣٠ |
| (٤) التحليل الكيميائى للمياه الجوفية بموقع المئذنة | ٢٣٠ |
| (٥) دراسة خواص التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٣١ |
| أ- التحليل الميكانيكى ( التوزيع الحجمى لحبيبات التربة ) | ٢٣٣ |
| ب - قوام التربة Soil Structure | ٢٣٤ |
| جـ - تعيين حد اللدونة وحد السيولة وحد الانكماش | ٢٣٥ |
| د - تعيين الرقم الهيدروجينى للتربة | ٢٣٨ |
| هـ - تعيين نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة | ٢٣٩ |
| و- قياس تركيز أيونات الأملاح (الكاتيونات والأنيونات) الذائبة فى التربة | ٢٤٠ |
| ز - تعيين تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة [TDS] | ٢٤٢ |
| ح - استخدام التحليل بحيود الأشعة السينية فى التعرف على معادن الطفلة | ٢٤٣ |
| **ثانى عشر** : التحليل الإنشائى لمئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الالى | ٢٤٧ |
| (١) أسلوب ومواد بناء المئذنة | ٢٤٧ |
| (٢) إعداد البيانات اللازمة لإجراء التحليل الإنشائى للمئذنة | ٢٤٧ |
| (٣) النموذج الرياضى للتحليل الإنشائى للمئذنة The Structure Modeling | ٢٤٨ |
| **أولاً** : التحليل الإنشائى للوضع الراهن للمئذنة | ٢٤٨ |
| **ثانياً** : التحليل الإنشائى للمئذنة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة | ٢٥٠ |
| **ثالث عشر** : دراسات المحيط الأثرى لمئذنة يشبك من مهدى بمنطقة الإمام الليث | ٢٥١ |
| الدراسات التخطيطية والعمرانية | ٢٥٥ |
| أ- محاور الحركة | ٢٥٥ |
| ب- شبكات المرافق العامة | ٢٥٦ |
| جـ - التخلص من النفايات الصلبة ( القمامة والمهملات ) | ٢٥٨ |
| د - الخدمات العامة | ٢٥٨ |
| هـ- دراسة الفراغات العمرانية | ٢٦٠ |
| و - دراسات الكتلة البنائية بالمحيط الأثرى للمئذنة | ٢٦١ |
| (٢) الدراسات التجريبية والمعملية لمواد وطرق علاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى | ٢٦٤ |
| **أولاً** : الدراسة التجريبية المعملية لتنظيف وإزالة السناج | ٢٦٤ |
| **ثانياً** : الدراسة التجريبية المعملية لتقييم المواد المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٦٨ |
| (٣) عمليات العلاج والترميم والصيانة لمئذنة يشبك من مهدى | ٣١٧ |

| الموضوع | رقم الصفحة |
|---|---|
| **أولاً** : إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات حتى منسوب أرضية المئذنة | ٣١٧ |
| **ثانياً** : أعمال الترميم المعمارى للمئذنة | ٣٢١ |
| (١) استكمال قمة المئذنة | ٣٢١ |
| (٢) عمل سلم للوصول إلى باب المئذنة | ٣٢٥ |
| (٣) استكمال بعض كتل الأحجار المفقودة أسفل باب المئذنة | ٣٢٥ |
| (٤) استبدال بعض كتل الأحجار التالفة والمتآكلة من قاعدة المئذنة | ٣٢٥ |
| **ثالثاً** : أعمال الترميم الدقيق لمئذنة يشبك من مهدى | ٣٢٩ |
| (١) عملية التنظيف للأسطح الحجرية للمئذنة | ٣٢٩ |
| أ- إزالة التكلسات والأملاح المتبلورة على السطح | ٣٢٩ |
| ب- إزالة طبقات السناج | ٣٣٠ |
| جـ - تنظيف وإزالة بقع الزيت والشحم والألوان | ٣٣١ |
| (٢) خطة للعزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة | ٣٣١ |
| (٣) استخلاص الأملاح من جدران مئذنة يشبك من مهدى بواسطة الكمادات | ٣٣٤ |
| (٤) عمليات التقوية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى | ٣٣٥ |
| (٥) تنظيف وملئ اللحامات ( العراميس) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار بالمئذنة | ٣٣٨ |
| (٦) عمليات العزل الرأسى للأسطح الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى لحمايتها من مصادر الرطوبة وصيانتها من التلف مرة أخرى | ٣٤٠ |
| **رابعاً** : أعمال تأهيل وتنسيق الموقع المحيط بمئذنة يشبك من مهدى | ٣٤٢ |
| مناقشة النتائج المستخلصة من الرسالة | ٣٤٥ |
| التوصيات | ٣٦٨ |
| قائمة المراجع | ٣٧٠ |
| **أولاً** : المراجع العربية | ٣٧٠ |
| **ثانياً** : المراجع الأجنبية | ٣٧٥ |

# فهرس الصور


| رقم الصورة | الصورة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | توضح مئذنة مدرسة السلطان حسن | ٢٦ |
| ٢ | توضح مئذنة مدرسة قانيباى الرماح ذات الرأسين بالقلعة | ٢٦ |
| ٣ | توضح مئذنة جامع الغورى بالغورية | ٢٦ |
| ٤ | توضح مئذنة جامع الكردى | ٢٦ |
| ٥ | توضح مئذنة جامع محمد بك أبو الذهب | ٢٦ |
| ٦ | توضح مئذنتا جامع محمد على بالقلعة | ٢٦ |
| ٧ | توضح مئذنة جامع خايربك | ١٣٣ |
| ٨ | توضح مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان | ١٣٣ |
| ٩ | توضح مئذنة الجامع الإسماعيلى | ١٣٣ |
| ١٠ | توضح مئذنة مسجد لاجين السيفى | ١٣٣ |
| ١١ | توضح مئذنة مسجد الغورى بعرب اليسار | ١٣٣ |
| ١٢ | توضح التعديات والإشغالات لمئذنة يشبك من مهدى بجامع الأمام الليث | ١٣٣ |
| ١٣ | توضح مئذنة جامع ايدمر البهلوان | ١٣٣ |
| ١٤ | توضح مئذنة جامع ايدمر البهلوان كاملة قبل انهيار الجوسق | ١٤٥ |
| ١٥ | توضح مئذنة جامع ايدمر البهلوان بوضعها الحالى (صورة أرشيفية) | ١٤٥ |
| ١٦ | توضح مئذنة مسجد قاينباى الجركسى كاملة قبل انهيار الجزء العلوى منها (صورة أرشيفية) | ١٤٥ |
| ١٧ | توضح مئذنة مسجد قاينباى الجركسى بوضعها الحالى بعد انهيار الجوسق (صورة أرشيفية) | ١٤٥ |
| ١٨ | توضح مئذنة مسجد مغلباى طاز كاملة قبل انهيار الجزء العلوى منها (صورة أرشيفية) | ١٤٥ |
| ١٩ | توضح مئذنة مسجد مغلباى طاز بوضعها الحالى بعد فقدان الجزء العلوى منها | ١٤٥ |
| ٢٠ | توضح مئذنة مسجد أيتمش البجاسى تظهر فيها قمة المئذنة (صورة أرشيفية) | ١٤٥ |
| ٢١ | توضح مئذنة مسجد أيتمش البجاسى بوضعها الحالى بعد تعرض قمتها للتلف | ١٤٥ |
| ٢٢ | توضح مئذنة مدرسة القاضى عبد الباسط تحمل القمة المدببة ذات الطراز العثمانى | ١٥٧ |

| رقم الصورة | الصورة | رقم الصفحة |
| --- | --- | --- |
| ٢٣ | توضح مئذنة مدرسة القاضى عبد الباسط بعد الترميم على الطراز المملوكى وعمل الجوسق وقمة المئذنة | ١٥٧ |
| ٢٤ | توضح مئذنة مسجد أحمد المهمندار | ١٥٧ |
| ٢٥ | توضح موقع مئذنة مسجد الأمير حسين | ١٥٧ |
| ٢٦ | توضح بعد الكتل الحجرية الباقية الخاصة بمئذنة مسجد الأمير حسين | ١٥٧ |
| ٢٧ | توضح عمليات إعادة البناء لمسجد قانيباى الرماح بالناصرية | ١٥٧ |
| ٢٨ | توضح مئذنة يشبك من مهدى بمنطقة الإمام الليث | ١٨٧ |
| ٢٩ | توضح موقع مئذنة يشبك من مهدى من مسجد الإمام الليث | ١٨٧ |
| ٣٠ | توضح المجموعة الكبيرة من المدافن المحيطة بالمئذنة وأكوام القمامة والمهملات | ١٨٧ |
| ٣١ | توضح المساكن العشوائية المحيطة بمئذنة يشبك من مهدى ومسجد الإمام الليث | ١٨٧ |
| ٣٢ | توضح الواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث وتظهر مئذنة يشبك من مهدى إلى اليمين من الصورة | ١٨٧ |
| ٣٣ | توضح المدخل الرئيسى لمسجد الإمام الليث وهو منخفض عن منسوب الشارع | ١٨٧ |
| ٣٤ | توضح الواجهة الجنوبية الغربية للمئذنة | ١٨٧ |
| ٣٥ | توضح الواجهة الجنوبية الشرقية للمئذنة | ١٨٧ |
| ٣٦ | توضح الواجهتان الشمالية الغربية والشمالية الشرقية | ١٨٧ |
| ٣٧ | توضح الجدار الجنوبى الغربى لمسجد الإمام الليث المقابل لمئذنة يشبك من مهدى | ١٨٧ |
| ٣٨ | توضح المدخل المؤدى إلى المئذنة بالجدار الجنوبى الغربى لمسجد الإمام الليث | ١٨٧ |
| ٣٩ | توضح المنزل العشوائى الملاصق للجدار الشمالى الشرقى للمئذنة | ١٨٧ |
| ٤٠ | توضح المدخل الرئيسى للمئذنة فى الواجهة الشمالية الشرقية يعلو الساباط | ١٩٠ |
| ٤١ | توضح فتحه الدخول إلى المئذنة يتوجها عقد مدبب وبها باب خشبى بسيط | ١٩٠ |
| ٤٢ | الساباط ( الممر المقبى) الموجود فى المستوى الأول ( قاعدة المئذنة ) | ١٩٠ |
| ٤٣ | توضح أكوام القمامة والمهملات المحيطة بالمئذنة وتكاد تخفى الساباط | ١٩٠ |
| ٤٤ | توضح طبقات السناج الكثيفة بفعل حرق القمامة وتشوية بكتابات بالبويات الزينية | ١٩٠ |
| ٤٥ | توضح كشر الأحجار المحيطة بالمئذنة وطبقات السناج الكثيفة وتآكل سطح الأحجار بفعل تبلور الأملاح | ١٩٠ |

| رقم الصورة | الصورة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٤٦ | توضح تزهر الأملاح على السطح وشقوق وانفصال فى الطبقات بفعل الأحمال الزائدة والرطوبة وتبلور الأملاح | ١٩٠ |
| ٤٧ | توضح تآكل فى بعض كتل الأحجار بفعل الرياح والتكثف وزخارف نباتية وكتابية ببدن المئذنة | ١٩٠ |
| ٤٨ | توضح الزخارف النباتية بقاعدة شرفه المئذنة وتآكل الأحجار بفعل إذابة بعض مكوناتها | ١٩٠ |
| ٤٩ | توضح زخارف هندسية ببدن المئذنة عليها اتساخات ذات لون أبيض ومنفذه بالحفر البارز | ١٩٠ |
| ٥٠ | توضح زخارف كتابية ببدن المئذنة وتظهر علامات الأدوات المستخدمة فى تسوية الأحجار | ١٩٠ |
| ٥١ | توضح زخارف هندسية قوامها الطبق النجمى بالمستوى الثالث المستدير للمئذنة | ١٩٠ |
| ٥٢ | توضح تفاصيل من وحدات الطبق النجمى التى تزخرف الجزء المستدير من المئذنة | ٢٠٥ |
| ٥٣ | توضح تثبيت عوارض خشبية خاصة بسياج شرفه المئذنة فى المستوى المستدير | ٢٠٥ |
| ٥٤-٥٧ | توضح عمليات الرصد المساحى لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٥ |
| ٥٨-٦١ | توضح عمليات مراقبة الاتزان مساحياً لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٥ |
| ٦٢-٦٥ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (١) من الحجر الجيرى | ٢١١ |
| ٦٦-٧٠ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (٢) من الحجر الجيرى | ٢١١ |
| ٧١-٧٤ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (٣) من الحجر الجيرى | ٢١١ |
| ٧٥-٧٦ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (٤) من الحجر الجيرى | ٢١١ |
| ٧٧-٧٨ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (٥) من الحجر الجيرى | ٢٣٢ |
| ٧٩-٨٢ | توضح فحص بالميكروسكوب المستقطب للقطاع رقم (٦) من الحجر الجيرى | ٢٣٢ |
| ٨٣-٨٨ | توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات حجر جيرى من مئذنة يشبك من مهدى | ٢٣٢ |
| ٨٩ | توضح البكتريا ذات الشكل الكروى | ٢٣٢ |

| رقم الصورة | الصورة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٩٠ | توضح فطر الأسبيرجيللس | ٢٣٢ |
| ٩١-٩٢ | توضح عملية أخذ جسه من التربة بموقع مئذنة يشبك من مهدى باستخدام الأوجر اليدوى | ٢٣٢ |
| ٩٣-٩٧ | توضح الدراسة التجريبية للتنظيف وإزالة السناج | ٢٧٥ |
| ٩٨ | توضح عينات الحجر الجيرى من مئذنة يشبك من مهدى | ٢٧٥ |
| ٩٩ | توضح عينات المونات التى تم إعدادها لعمليات التقوية والعزل | ٢٧٥ |
| ١٠٠ | توضح جهاز قياس قوة تحمل الضغط ميكانيكياً | ٢٧٥ |
| ١٠١ | توضح عينات الحجر الجيرى والمونات أثناء قياس قوة تحمل الضغط | ٢٧٥ |
| ١٠٢ | توضح عينات الحجر الجيرى والمونات أثناء وضعها فى فرن التجفيف | ٢٧٥ |
| ١٠٣ | توضح علية وزن العينات أثناء تعيين الخواص الفيزيائية لها | ٢٧٥ |
| ١٠٤ | توضح جهاز الموجات فوق الصوتية | ٢٧٥ |
| ١٠٥ | توضح معايرة جهاز الموجات فوق الصوتية قبل قياس سرعة مرورها فى العينات | ٢٧٥ |
| ١٠٦-١٠٧ | توضح عينات الحجر الجيرى والمونات أثناء اختبارها باستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية | ٢٧٥ |
| ١٠٨-١١٦ | توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات الحجر الجيرى بعد التقوية | ٣٠٢ |
| ١١٧ | توضح عينات الحجر الجيرى بعد تقويتها | ٣٠٢ |
| ١١٨ | توضح عينات المونات بعد معالجتها | ٣٠٢ |
| ١١٩-١٢٣ | توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات المونات بعد التقوية | ٣٢٠،٣٠٢ |
| ١٢٤-١٣٢ | توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات المونات الحجر الجيرى بعد إجراء التقادم الصناعى عليها | ٣٢٠ |
| ١٣٣-١٣٧ | توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات المونات بعد إجراء التقادم الصناعى عليها | ٣٢٠ |
| ١٣٨-١٤٣ | توضح المئذنة بعد إزالة طبقات الردم من حولها وإظهار الممر النافذ أسفلها وظهور بعض كتل الأحجار التالفة فى قاعدة المئذنة | ٣٢٢ |
| ١٤٤-١٤٥ | صورتان ارشيفيتان لمئذنة يشبك من مهدى حيث تظهر المئذنة والجوسق مفقود | ٣٣٢ |
| ١٤٦-١٤٩ | توضح الوضع الراهن للواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٢٢ |
| ١٥٠-١٥١ | توضحان عمليات التنظيف الميكانيكى لقاعدة المئذنة ( الواجهة الشمالية الغربية ) | ٣٣٢ |
| ١٥٢-١٥٣ | توضحان عمليات التنظيف الكيميائى لقاعدة المئذنة ( الواجهة الشمالية الغربية ) | ٣٣٢ |
| ١٥٤-١٥٥ | توضحان التنظيف باستخدام كمادة مورا | ٣٣٢ |

| رقم الصورة | الصورة | رقم الصفحة |
| --- | --- | --- |
| ١٥٦ | توضح عمليات التنظيف الكيميائى بقاعدة المئذنة ( الواجهة الجنوبية الغربية ) | ٣٣٢ |
| ١٥٧-١٦٠ | توضح التنظيف باستخدام كمادة مورا للواجهة الجنوبية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٣٢ |
| ١٦١-١٦٢ | توضحان الجزء الذى تم تنظيفه من قاعدة المئذنة ( الواجهة الجنوبية الغربية ) بعد الترميم | ٣٣٧ |
| ١٦٣-١٦٦ | توضح عمليات التنظيف الكيميائى لإزالة السناج من السقف الحجرى للممر النافذ اسفل المئذنة | ٣٣٧ |
| ١٦٧ | توضح إحدى الكتل الحجرية بسقف الممر النافذ اسفل المئذنة قبل إجراء عمليات التنظيف | ٣٣٧ |
| ١٦٨-١٦٩ | توضحان نفس الكتلة الحجرية الموجودة بسقف الممر النافذ اسفل المئذنة بعد إجراء عمليات التنظيف | ٣٣٧ |
| ١٧٠-١٧٢ | توضح عمليات استخلاص الأملاح من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة باستخدام الكمادات الورقية | ٣٣٧ |
| ١٧٣-١٧٤ | توضحان إعادة تطبيق كمادة موار على بعض الأماكن من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة لتنظيفها | ٣٣٧ |
| ١٧٥-١٨٠ | توضح عمليات التقوية للأسطح الحجرية بالواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٣٧،٣٤١ |
| ١٨١-١٨٥ | توضح عمليات ترميم العراميس ( الفواصل ) بين كتل الأحجار بالواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٤١ |
| ١٨٦-١٩٠ | توضح عمليات عزل أسطح الأحجار بالواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٤١ |
| ١٩١-١٩٣ | توضح بعض الكتل تعلوها طبقات الفار قبل وأثناء وبعد التنظيف من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٤٣ |
| ١٩٤-١٩٥ | توضحان إزالة الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة ونفس كتلة الحجر بعد إزالة طبقات المونة من عليها | ٣٤٣ |
| ١٩٦-١٩٧ | توضحان تشوية لونى قبل وبعد المحال الترميم ( الواجهة الشمالية الغربية) | ٣٤٣ |
| ١٩٨-٢٠٥ | توضح بعض كتل الأحجار قبل وبعد عمليات العلاج والترميم والصيانة بالواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة | ٣٤٣ |
| ٢٠٦-٢٠٧ | توضحان الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة بعد انتهاء عمليات العلاج والترميم والصيانة | ٣٤٤ |

# فهرس الأشكال


| رقم الشكل | الشكل | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | يوضح مئذنة مسجد القيروان بتونس | ٧ |
| ٢ | يوضح المئذنة الملوية بسامراء بالعراق | ٧ |
| ٣ | يوضح منارة الإسكندرية | ٧ |
| ٤ | يوضح مئذنة سلار وسنجر المجاولى | ٧ |
| ٥ | يوضح العناصر المكونة للمئذنة | ٩ |
| ٦ | يوضح تحليل أبعاد العناصر المعمارية لمئذنة قايتباى بالجامع الأزهر | ١٦ |
| ٧ | يوضح مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب | ٢٣ |
| ٨ | يوضح مئذنتا جامع المؤيد شيخ | ٢٧ |
| ٩ | يوضح مئذنة جامع قطب الدين بدلهى | ٢٩ |
| ١٠ | يوضح امتدادات هضاب المقطم الثلاث | ٥١ |
| ١١ | يوضح قطاع جيولوجى ( شمال غرب - جنوب شرق) جبل المقطم | ٥١ |
| ١٢ | يوضح قطاع جيولوجى ( شرق- غرب شرق) جبل المقطم | ٥١ |
| ١٣ | يوضح قطاع جيولوجى رأسى تجميعى يبين التتابع الطبقى لصخور جبل المقطم | ٣٧ |
| ١٤ | يوضح التتابع الطبقى لتكوين الجيوشى والمعادى عند الحافة الجنوبية للهضبة العليا | ٥١ |
| ١٥ | يوضح بعض أنواع المسام فى الأحجار | ٥١ |
| ١٦ | يوضح العلاقة بين الإجهادات والانفعالات | ٥٧ |
| ١٧ | يوضح كمية ونوعية الإشاعات الشمسية المختلفة بمدينة القاهرة (متوسط ٣١عاماً) | ٨٤ |
| ١٨ | يوضح ظهور عصر البليوسين الأعلى جانبى خزان النيل | ١١٢ |
| ١٩ | يوضح سقوط كتل الأحجار من القمة البصلية بالمآذن الأثرية | ١١٢ |
| ٢٠ | يوضح حدوث شروخ فى أصغر قطاع فى القمة البصلية بالمآذن الأثرية | ١١٢ |
| ٢١ | يوضح حدوث شروخ فى الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق | ١١٢ |
| ٢٢ | يوضح ميل مئذنة الغورى ذات الرأسين بالجامع الأزهر | ١١٢ |
| ٢٣ | يوضح مئذنتا المشهد الحسينى ومنجك اليوسفى | ١٣٠ |
| ٢٤ | يوضح النموذجين الرياضيين لمئذنتى المشهد الحسينى ومنجك اليوسفى | ١٣٠ |
| ٢٥ | يوضح تنفيذ الخوازيق الأبرية تحت ضغط منخفض | ١٣٩ |
| ٢٦ | يوضح تنفيذ الخوازيق الأبرية تحت ضغط عالى | ١٤١ |
| ٢٧ | يوضح علاقة التجاور بين الكتل الحجرية التى يتم فكها | ١٥٦ |

| رقم الشكل | الشكل | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٢٨ | يوضح التاريخ الذى بنيت فيه مئذنة يشبك من مهدى | ١٨٢ |
| ٢٩ | يوضح موقع الروبيرات المسامية بمئذنة يشبك من مهدى | ١٩١ |
| ٣٠ | يوضح وحدة قياس الميل بجهاز مراقبة اتزان وميول المنشآت | ١٠٤ |
| ٣١ | يوضح التمثيل البيانى للعلاقة بين قيم الميل بالمللى امبير وتحويلها بالدرجات للاتجاهين X,Y | ١٠٦ |
| ٣٢ | توضح نتائج مراقبة التغير الديناميكى فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٨ |
| ٣٣ | يوضح نتائج تحليل العينتين رقمى (١)،(٢) من الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى باستخدام وحدة [EDX] | ٢١٦ |
| ٣٤ | يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة حجر جيرى من مئذنة يشبك من مهدى | ٢١٧ |
| ٣٥ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة أملاح من مئذنة يشبك من مهدى | ٢١٨ |
| ٣٦ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة مونة بناء مئذنة يشبك من مهدى | ٢١٨ |
| ٣٧ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة من مونة بناء مئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٠ |
| ٣٨ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة من مونة الحشو الداخلى بين الأحجار بقاعدة مئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٠ |
| ٣٩ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة من الأحجار الموجود ضمن الحشو الداخلى بين الأحجار بقاعدة مئذنة يشبك من مهدى | ٢٤٥ |
| ٤٠ | يوضح أماكن تنفيذ الجسات الثلاثة بموقع مئذنة يشبك من مهدى بعمق ١٥ متراً لكل جسه | ٢٢٦ |
| ٤١ | يوضح قطاع التربة بالجسه رقم (١) | ٢٢٧ |
| ٤٢ | يوضح قطاع التربة بالجسه رقم (٢) | ٢٢٨ |
| ٤٣ | يوضح قطاع التربة بالجسه رقم (٣) | ٢٢٩ |
| ٤٤ | يوضح العلاقة بين محتوى الرطوبة وحالات القوام للتربة | ٢٣٦ |
| ٤٥ | يوضح نمط حيود الآشعة السينية لعينة تربة بموقع مئذنة يشبك من مهدى | ٢٤٥ |
| ٤٦ | يوضح نمط حيود الاشعة السينية لمعادن الطفلة بعينة تربة من موقع مئذنة يشبك من مهدى | ٢٤٦ |
| ٤٨ | يوضح نموذج رياضى مجسم لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٥٢ |
| ٤٩ | يوضح نموذج رياضى مجسم لمئذنة يشبك من مهدى فى حالة استكمال الجوسق | ٢٥٢ |
| ٥٠ | يوضح شكل المئذنة خلال زمن التردد الأساسى للزلزال | ٢٥٢ |

| رقم الصفحة | الشكل | رقم الشكل |
|---|---|---|
| ٢٥٢ | يوضح شكل المئذنة خلال زمن التردد الأساسى للزلزال فى حالة استكمال الجوسق | ٥١ |
| ٢٥٢ | يوضح قطاع فى النموذج الرياضى المجسم للمئذنة | ٥٢ |
| ٢٥٢ | يوضح شكل المئذنة خلال زمن التردد الثالث للمئذنة | ٥٣ |
| ٢٥٢ | يوضح شكل المئذنة خلال زمن التردد الرابع للمئذنة | ٥٤ |
| ٢٥٢ | يوضح شكل المئذنة تحت تأثير الأحمال الراسية | ٥٥ |
| ٢٥٣ | يوضح شكل المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل | ٥٦ |
| ٢٥٣ | يوضح شكل المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية واحمال الزلازل فى حالة استكمال الجوسق | ٥٧ |
| ٢٥٣ | يوضح الحد الأدنى للاجهادات بالمئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية واحمال الزلازل | ٥٨ |
| ٢٥٣ | يوضح الحد الأدنى للإجهادات بقاعدة المئذنة تحت تأثر الأحمال الراسية وأحمال الزلازل | ٥٩ |
| ٢٥٤ | يوضح الحد الاقصى للاجهادات بالمئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل | ٦٠ |
| ٢٥٤ | يوضح الحد الأقصى للإجهاد بالمئذنة تحت تأثر الأحمال الراسية وأحمال الزلازل فى حالة استكمال الجوسق | ٦١ |
| ٢٥٤ | يوضح الحد الأقصى للإجهادات بقاعدة المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل | ٦٢ |
| ٢٥٤ | يوضح الحد الأقصى للاجهادات بقاعدة المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل فى حالة استكمال الجوسق | ٦٣ |
| ٢٩٩ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية | ٦٣/ |
| ٢٩٩ | يوضح الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية | ٦٤ |
| ٢٩٩ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينة المونة رقم (٨) قبل وبعد التقوية | ٦٥ |
| ٢٩٩ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينة المونة رقم (٧) قبل وبعد التقوية | ٦٦ |
| ٣٠٠ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينة المونة رقم (٢) قبل وبعد التقوية | ٦٧ |
| ٣٠٠ | يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) على الترتيب بعد عمليات التقوية | ٦٨-٧٠ |
| ٣١٨ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٧١ |
| ٣١٨ | يوضح الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٧٢ |

| رقم الشكل | الشكل | رقم الصفحة |
| --- | --- | --- |
| ٧٣-٧٥ | يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٣١٨،٣١٩ |
| ٧٦-٧٨ | يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٣١٩ |
| ٧٩ | يوضح حالة مئذنة يشبك من مهدى قبل إزالة طبقات الردم | ٣٢٦ |
| ٨٠ | يوضح المئذنة بعد إزالة طبقات الردم | ٣٢٧ |
| ٨١ | يوضح المئذنة بعد الاستكمال المقترح لسلم الصعود إلى باب المئذنة | ٣٢٨ |
| ٨٢ | يوضح موقع مئذنة يشبك من مهدى ومسجد الإمام الليث | ٣٤٦ |
| ٨٣ | يوضح التصميم المقترح للبلاطات الحجرية بموقع المئذنة | ٣٤٧ |
| ٨٤ | يوضح تفصيلية من التكسيات الحجرية المقترح عملها بالموقع المحيط بمئذنة يشبك من مهدى | ٣٤٨ |

# فهرس اللوحات


| رقم اللوحة | اللوحة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | توضح مئذنة مسجد سلار وسنجرالجاولى | ٧ |
| ٢ | توضح مئذنة جامع أحمد بن طولون | ٧ |
| ٣ | توضح مئذنة جامع الجيوشى | ٧ |
| ٤ | توضح المئذنة الجنوبية الغربية لجامع الحاكم بأمر الله | ٧ |
| ٥ | توضح المئذنة الشمالية الشرقية لجامع الحاكم بأمر الله | ٧ |
| ٦ | توضح مئذنة المدرسة الصالحية | ١١ |
| ٧ | توضح مئذنة المشهد الحسينى | ١١ |
| ٨ | توضح مئذنة مدرسة حسن صدقة | ١١ |
| ٩ | توضح مئذنة مسجد قوصون | ١١ |
| ١٠ | توضح مئذنة مدرسة صرغتمش | ١١ |
| ١١ | توضح مئذنة الأمير شيخو | ١١ |
| ١٢ | توضح مئذنة جامع الملكة صفية | ١٢ |
| ١٣ | توضح مئذنة جامع سليمان باشا بالقلعة | ١٢ |
| ١٤ | توضح مئذنة الرماح بالناصرية | ١٢ |
| ١٥ | توضح مئذنة الغورى ذات الرأسين بالجامع الأزهر | ١٢ |
| ١٦ | توضح مئذنة مسجد أبى الغضنفر | ١٦ |
| ١٧ | توضح مئذنة جامع أسنا | ١٦ |
| ١٨ | توضح مئذنة جامع صفاقس بتونس | ١٦ |
| ١٩ | توضح تفاصيل من مئذنة جامع الحاكم بأمر الله | ٢٣ |
| ٢٠ | توضح مئذنة زاوية الهنود | ٢٣ |
| ٢١ | توضح مئذنة جامع الطنبغا الماردانى | ٢٣ |
| ٢٢ | توضح مئذنة جامع قايتباى بالصحراء | ٢٣ |
| ٢٣ | توضح مئذنة مدرسة برقوق بالنحاسين | ٢٣ |
| ٢٤ | توضح مئذنة جامع المحمودية | ٢٧ |
| ٢٥ | توضح مئذنة مسجد البردينى | ٢٧ |
| ٢٦ | توضح مئذنة مدرسة المنصور قلاوون | ٢٧ |
| ٢٧ | توضح مئذنة ضريح فاطمة خاتون | ٢٩ |
| ٢٨ | توضح مئذنتا جامع الناصر محمد بالقلعة | ٢٩ |
| ٢٩ | توضح مئذنة جامع المزهرية | ٨٣ |
| ٣٠ | توضح مئذنة مدرسة جوهر اللالا | ٨٣ |

| رقم اللوحة | اللوحة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٣١ | توضح الواجهة الغربية لمسجد ايدمر البهلوان تظهر من خلاله المئذنة كاملة تؤرخ بعام ١٨٨٤م | ١٤٩ |
| ٣٢ | توضح قطاع فى مئذنة ايدمر البهلوان يؤرخ بعام ١٨٩٣م | ١٤٩ |
| ٣٣ | توضح تصميم معمارى لقمة مئذنة ايدمر البهلوان | ١٤٩ |
| ٣٤ | توضح تصميم معمارى آخر لقمة مئذنة ايدمر البهلوان | ١٤٩ |
| ٣٥ | توضح الواجهة الغربية لمئذنة ايدمور البهلوان بدون الجوسك | ١٤٩ |
| ٣٦ | توضح قطاع حديث لمئذنة ايدمر البهلوان | ١٤٩ |
| ٣٧ | توضح مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان | ١٤٩ |
| ٣٨ | توضح مشروع استكمال مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان | ١٤٩ |
| ٣٩ | توضح مئذنة خاير بك | ١٥٠ |
| ٤٠ | توضح مشروع استكمال مئذنة خاير بك | ١٥٠ |
| ٤١ | توضح مشروع استكمال مئذنة قانيباى الجركسى | ١٥٠ |
| ٤٢ | توضح مئذنة مغلباى طاز | ١٥٠ |
| ٤٣ | توضح مئذنة أحمد المهمندار | ١٥٠ |
| ٤٤ | توضح مئذنة خاير بك كاملة | ١٥٥ |
| ٤٥ | توضح مئذنة خاير بك بدون الجوسق | ١٥٥ |
| ٤٦ | توضح مئذنة قانيباى الرماح بالقلعة | ١٥٥ |
| ٤٧ | توضح نفس المئذنة السابقة | ١٥٥ |
| ٤٨ | توضح مئذنة قانيباى الرماح بالناصرية | ١٥٥ |
| ٤٩ | توضح نفس المئذنة السابقة | ١٥٥ |
| ٥٠ | توضح مئذنة مسجد حسن باشا طاهر | ١٥٥ |
| ٥١ | توضح رفع مساحى لموقع مئذنة يشبك من مهدى بمنطقة عين الصيرة | ١٩٢ |
| ٥٢ | لوحة توضح مسقط أفقي لمئذنة يشبك من مهدى وجامع الإمام الليث | ١٩٣ |
| ٥٣ | توضح الواجهات والمساقط الأفقية الأربعة لمئذنة يشبك من مهدى | ١٩٤ |
| ٥٤ | توضح تفاصيل زخارف مئذنة يشبك من مهدى | ١٩٥ |
| ٥٥ | توضح الاتزان الانشائى للمئذنة عند قطاعين فيها | ١٩٦ |
| ٥٦ | توضح مظاهر تلف مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث | ١٩٨ |
| ٥٧-٥٩ | توضح أعمال رفع مساحى لرصد ميول مئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٠،٢٠٢ |
| ٦٠ | توضح منظور للوضع الراهن للمئذنة والمنطقة المحيطة بها | ٣٤٩ |
| ٦١ | توضح نفس المنظور السابق ويظهر فيه التصور المقترح للمئذنة بعد الترميم والصيانة واستكمال الجوسق وقمة المئذنة وتنسيق وتأهيل | ٣٤٩ |
| ٦٢ | توضح منظور آخر للوضع الراهن للمئذنة | ٣٥٠ |

| رقم اللوحة | اللوحة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٦٣ | توضح نفس المنظور السابق ويظهر التصور المقترح للمئذنة والمنطقة المحيطة بها فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة | ٣٥٠ |
| ٦٤ | توضح منظور آخر للمئذنة والمنطقة المحيطة بها بعد أعمال الترميم والصيانة والتنسيق والتأهيل المقترحة مع استكمال الجوسق وقمة المئذنة | ٣٥١ |
| ٦٥-٦٨ | توضح مقارنة بين الوضع المقترح للمئذنة والمنطقة المحيطة بها فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة وكذلك فى حالة عدم استكمال الجوسق وقمة المئذنة | ٣٥٢،٣٥٣ |

# فهرس الجداول


| رقم الجدول | الجدول | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | يوضح الآراء المختلفة لأقدم مئذنة باقية فى العمارة الإسلامية مرتبة تاريخياً | ٤ |
| ٢ | يوضح نسبة الكالسيت والسليكا فى مناطق جبل المقطم والجيوشى وشرق وجنوب شرق مصر القديمة و طره و حلوان | ٤٨ |
| ٣ | يوضح مسامية بعض أنواع الصخور | ٥٢ |
| ٤ | يوضح نتيجة التحليل الكيميائى لرواسب الرخام فى وادى الدغيج | ٦٣ |
| ٥ | يوضح نتيجة التحليل الكيميائى لرواسب الرخام بجبل الرخام | ٦٥ |
| ٦ | يوضح قيم الخواص الطبيعية للرخام الجيد | ٦٧ |
| ٧ | يوضح المعدلات السنوية المختلفة لكمية هطول الأمطار | ٧٩ |
| ٨ | يوضح متوسط المعدل الشهرى للرطوبة النسبية اليومية خلال (٣١) عاماً على مدينة القاهرة | ٨٠ |
| ٩ | يوضح النسبة المئوية لساعات سطوع الشمس لمدينة القاهرة ( متوسط ٣١عام) | ٨٤ |
| ١٠ | يوضح متوسط القيم الشهرية المختلفة لدرجات الحرارة خلال ٣١ عام | ٨٥ |
| ١١ | يوضح متوسط عدد الأيام ذات درجة الحرارة العظمى بمدينة القاهرة خلال ٣١ عام | ٨٦ |
| ١٢ | يوضح متوسط عدد الأيام ذات درجة حرارة صغرى خلال ٣١ عام بمدينة القاهرة | ٨٦ |
| ١٣ | يوضح الاستخدامات المختلفة لمياه الشرب بإقليم القاهرة الكبرى | ٨٩ |
| ١٤ | يوضح بعض أنواع الأملاح التى تتبلور داخل أحجار المآذن الأثرية | ٩٢ |
| ١٥ | يوضح متوسط سرعة الرياح واتجاهاتها بمدينة القاهرة خلال ٣١ عاماً | ٩٤ |
| ١٦ | يوضح أهم مصادر انبعاث غازات $NO_x$ التى ترجع للأنشطة البشرية | ٩٧ |
| ١٧ | يوضح نتائج مراقبة التغير الديناميكى فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٨ |
| ١٨ | يوضح أماكن أخذ قطاعات الحجر الجيرى من مئذنة يشبك من مهدى | ٢٠٩ |
| ١٩ | يوضح نتائج التحليل بوحدة [EDX] لعينة الحجر الجيرى رقم (١) | ٢١٣ |
| ٢٠ | يوضح نتائج التحليل بوحدة [EDX] لعينة الحجر الجيرى رقم (٢) | ٢١٤ |
| ٢١ | يوضح العينات التى تم دراستها بواسطة طريقة حيود الأشعة السينية | ٢١٥ |
| ٢٢ | يوضح نتائج تحليل العينات بواسطة طريقة حيود الأشعة السينية | ٢٢١ |
| ٢٣ | يوضح قيم الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٢ |
| ٢٤ | يوضح قيمتى قوتى تحمل الضغط والشد للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٢٢ |

| رقم الصفحة | الجدول | رقم الجدول |
|---|---|---|
| ٢٢٣ | يوضح قيم محتوى الرطوبة للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٥ |
| ٢٢٤ | يوضح تصنيف الفطريات التى تم عزلها من مئذنة يشبك من مهدى | ٢٦ |
| ٢٣١ | يوضح نتائج التحليل الكيميائى للمياه الجوفية بموقع مئذنة يشبك من مهدى | ٢٧ |
| ٢٣١ | يوضح عمق العينات بقطاع التربة رقم (١) | ٢٨ |
| ٢٣٣ | يوضح عمق العينات بقطاع التربة رقم (٢) | ٢٩ |
| ٢٣٥ | يوضح نتائج التحليل الميكانيكى والتوزيع الحجمى لحبيبات التربة بموقع مئذنة يشبك من مهدى | ٣٠ |
| ٢٣٨ | يوضح نتائج قياس حدود اللدونة والسيولة والانكماش للتربة المقام عليها مئذنة يشبك من مهدى | ٣١ |
| ٢٣٩ | يوضح نتائج تعيين الرقم الهيدروجينى ونسبة كربونات الكالسيوم فى التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى | ٣٢ |
| ٢٤٤ | يوضح قياس تركيز أيونات الأملاح الذائبة فى التربة (الكاتيونات والأنيونات) وتركيز الأملاح الكلية الذائبة [TDS] بموقع مئذنة يشبك من مهدى | ٣٣ |
| ٢٤٧ | يوضح نتائج قياس الخواص الميكانيكية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى | ٣٤ |
| ٢٦٥ | يوضح المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية المستخدمة فى تنظيف طبقات السناج من على أسطح بلاطات الحجر الجيرى | ٣٥ |
| ٢٦٧ | يوضح نتائج تنظيف طبقة السناج باستخدام المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية | ٣٦ |
| ٢٦٩ | يوضح مكونات ونسب المونات | ٣٧ |
| ٢٧٨ | يوضح المواد المقوية المستخدمة لتقوية عينات الحجر الجيرى والمونات | ٣٨ |
| ٢٨٠ | يوضح نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لعينات الحجر الجيرى المعالجة | ٣٩ |
| ٢٨١ | يوضح نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لعينات المونات المعالجة | ٤٠ |
| ٢٨٢ | يوضح قيم الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية | ٤١ |
| ٢٨٣ | يوضح نسبة المادة الصلبة المتبقية بعينات الحجر الجيرى من مواد التقوية | ٤٢ |
| ٢٨٤ | يوضح نسبة المادة الصلبة المتبقية بعينات المونات من مواد التقوية | ٤٣ |
| ٢٨٧ | يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية | ٤٤ |
| ٢٩٠ | يوضح قيم الخواص الفيزيائية للمونات بعد إجراء عمليات التقوية | ٤٥ |
| ٢٩٥ | يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخواص الميكانيكية لعينات المونات قبل وبعد التقوية | ٤٦ |
| ٣٠٣ | يوضح قيم الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٤٧ |

| رقم الجدول | الجدول | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ٤٨ | يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخـــواص الميكانيكيـــة لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها | ٣٠٥ |
| ٤٩ | يوضح قيم الخواص الفيزيائية لعينات المونات بعد إجراء عمليـــــات التقـــادم الصناعى عليها | ٣٠٨ |
| ٥٠ | يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخـــواص الميكانيكيـــة لعينات المونات بعد إجراء عمليات التقادم عليها | ٣١٣ |

# فهرس الخرائط


| رقم الخريطة | الخريطة | رقم الصفحة |
|---|---|---|
| ١ | توضح طبوغرافية لجبل المقطم | ٣٢ |
| ٢ | توضح جيومورفولوجية لجبل المقطم | ٣٣ |
| ٣ | توضح جيولوجية لجبل المقطم | ٣٦ |
| ٤ | توضح مناطق المحاجر المجاورة لمدينة القاهرة | ٤٦ |
| ٥ | توضح موقع منطقة أبو سويل من جمهورية مصر العربية | ٦٢ |
| ٦ | توضح أماكن وجود الرخام فى منطقتى الدغيج و الجندى | ٦٤ |
| ٧ | توضح إقليم الصحراء الشرقية للسيول ( من القاهرة حتى أسيوط ) | ١١٥ |
| ٨ | توضح المناطق شديدة الخطورة التى يصل بها الجريـــان السـيلى إلـى معدلات عالية | ١١٥ |
| ٩ | توضح محاور الوصول إلى مئذنة يشبك من مهدى | ٢٥٧ |
| ١٠ | توضح أماكن مبانى الخدمات العامة بمنطقة الإمام الليث المحيطة بمئذنــة يشبك من مهدى | ٢٥٩ |
| ١١ | توضح ارتفاعات المبانى بالمنطقة المحيطة بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٦٢ |
| ١٢ | توضح مواقع الأنشطة الصناعية والتجارية و الحرفية بالمنطقة المحيطــة بمئذنة يشبك من مهدى | ٢٦٣ |

# الكلمات الدالة على الرسالة

(١) ترميم

(٢) المآذن الأثرية

(٣) العوامل الفيزيوكيمائية

(٤) التربة

(٥) الزلازل

(٦) التحليل الإنشائى

(٧) تدعيم الأساسات

(٨) الترميم المعمارى

(٩) الترميم الدقيق

(١٠) صيانة

# المقدمة Introduction

تزخر مصر بصفة عامة ومدينة القاهرة بصفة خاصة بمجموعة كبيرة من المآذن الأثرية التى قل أن نجد مثلها فى بقعة أخرى من بقاع العالم الإسلامى وقد بدأت المآذن فى مصر بتصميم ذو بدن مربع وكانت بدايتها فى جامع عمرو بن العاص حيث بنى مسلمة بن مخلد والى مصر ( ٥٣هـ- ٦٧٣م ) فى عهد معاوية بن أبى سفيان أربعة مآذن فى أركانه الأربعة ، وظلت المآذن خاضعة للتأثيرات التى وفدت من سوريا والمغرب حينا ومن العراق وفارس حينا آخر وقد اتخذت المآذن منذ العصر الفاطمى طرازاً أخر أخذ يبرز فى الوقت الذى استمرت فيه التأثيرات الفنية الوافدة إلى أن أخذت المآذن المصرية أخيراً صورتها المصرية المحلية الصميمة.

وقد تعرضت هذه المآذن الأثرية ذات الطرز المعمارية المتنوعة ومواد البناء التى اشتملت على الأحجار الجيرية والرخام والطوب المحروق (الآجر) إلى جانب المونات والأخشاب التى كانت تستخدم فى شرفات بعض المآذن الأثرية وكذلك فى قمم بعض المآذن الأخرى ذات القمة العثمانية المدببة التى كانت تغلف فى بعض الأحيان بألواح من الرصاص إلى مظاهر تلف متنوعة نتجت عن عوامل تلف مختلفة تتضمن العوامل الفيزيوكيميائية من رطوبة بمصادرها المختلفة وتغيرات فى درجات الحرارة ومياه أرضية وأملاح وتلوث جوى إلى جانب تأثير الأحمال والتربة وتداعياتها وعوامل بشرية وبيولوجية .

ونظرا للتداعيات التى تتعرض لها هذه المآذن الأثرية النادرة ومظاهر التلف المختلفة الناتجة عن عوامل التلف المتنوعة فقد تم تناول المآذن الأثرية بمدينة القاهرة من حيث العلاج والترميم والصيانة من خلال الرسالة التى تم تقسيمها إلى خمسة فصول ، اشتمل الفصل الأول منها على دراسة نشأة المآذن الأثرية وتطورها المعمارى والنظام الإنشائى لها، كما تضمن الفصل الثانى دراسة مواد بناء المآذن الأثرية من أحجار جيرية وطوب محروق (آجر) وأخشاب ورخام ومونات، وتناول الفصل الثالث دراسة عوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية من عوامل فيزيوكيميائية إلى جانب دراسة التربة والتداعيات الإنشائية الناتجة عنها والاجهادات التى تتعرض لها المآذن الأثرية بفعل الأحمال الراسية والأفقية المؤثرة عليها بالإضافة لدراسة التلف البيولوجى والبشرى وكذلك تأثير الكوارث الطبيعية مثل الزلازل والسيول ، وقد تناول الفصل الرابع دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية والتى تشتمل على القيام أولاً بالدراسات اللازمة للوضع الراهن للمآذن من توثيق وتسجيل أثرى ورصد مساحى وإجراء الفحوص والتحاليل اللازمة لمواد البناء والدراسات الخاصة بالتربة والأساسات وكذلك التحليل الإنشائى للمآذن باستخدام النماذج الرياضية الرقمية التى يتم عملها بواسطة برامج تحليل إنشائى خاصة على الحاسب الآلى وبعد انتهاء هذه الدراسات يتم التعرف على المشكلات الموجودة ووضع الحلول الخاصة بكل منها من خلال خطة العلاج والترميم والصيانة والتى تشتمل على الترميم الإنشائى والمعمارى والدقيق للمآذن ويقدم الفصل الخامس التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث ، اثر رقم (٢٨٦) بمنطقة عين الصيرة وهى تعود للعصر المملوكى الجركسى ويرجع تاريخها إلى عام (٨٨٤هـ/ ١٤٧٩م) واختتم البحث بمناقشة النتائج المستخلصة وذكر التوصيات التى ينصح بتطبيقها لصيانة المآذن الأثرية من التلف .

# ملخص الرسالة

تنقسم الرسالة إلى خمس فصول كما يلى :

## الفصل الأول

اشتمل هذا الفصل على دراسة الأصل اللغوى لأسماء المئذنة حيث كان يطلق عليها أسماء الصومعة والمنارة إلى جانب المئذنة ، ونشأة المآذن الأثرية وبداية ظهورها فى العمارة الإسلامية بالإضافة إلى الأغراض الوظيفية للمآذن الأثرية ونجد أن المئذنة كانت تستخدم فى أغراض أخرى بخلاف الغرض الرئيسى لها وهو رفع الآذان للإعلان عن قدوم وقت الصلاة فنجد أنها استخدمت للإعلان عن وفاه الشخصيات الهامة فى المدن الإسلامية وإنشاء الابتهالات من فوقها فى بعض المناسبات الدينية خاصة فى شهر رمضان والدعاء من فوقها للسلطان والجنود قبل الحروب إلى جانب إضاءة قمتها لاستخدامها كنقاط إرشاد ليلاً أو للمراقبة الحربية لإعطاء الإشارات عند الخطر ، كما تناول الفصل دراسة الأصل المعمارى للمآذن الأثرية فى مصر إلى جانب ذلك تم تناول تطور المآذن الأثرية فى مصر خلال العصور الإسلامية المختلفة وتشمل العصور الطولونى والفاطمى والأيوبى والمملوكى البحرى والمملوكى الجركسى والعثمانى وتضمن الفصل دراسة النظام الإنشائى للمآذن الأثرية والعناصر المكونة لها وهى قواعد المآذن ومناطق الانتقال بالمآذن والدخلات والفتحات والقمم التى تتوج مآذن القاهرة الأثرية وشرفاتها إلى جانب ذلك تم دراسة زخرفة المآذن الأثرية بالعناصر الزخرفية المختلفة مثل الزخارف ذات الأشكال الدالية وزخارف الجفت المضفور ووحدة السهم والوردة الثمانية والأعمدة المندمجة وغيرها إلى جانب زخرفتها بشرائط كتابية أو ببلاطات من القاشانى أو تلابيس من الرخام .

## الفصل الثانى

تضمن دراسة مواد بناء المآذن الأثرية ودراسة جيولوجية مدينة القاهرة التى تقع فى نطاقها مئذنة يشبك من مهدى ( موضوع الدراسة التطبيقية للرسالة ) وتتبع جيولوجية مدينة القاهرة التكوينات الصخرية لجبل المقطم إلى جانب دراسة الأحجار الجيرية التى استخدمت لبناء المآذن الأثرية من حيث أنواعها وتشمل الأحجار الجيرية الكيميائية العضوية والأحجار الجيرية الكيميائية غير العضوية ومصادرها وتتضمن الأحجار الجيرية بمنطقة جبل المقطم ومنطقة شرق وجنوب شرق مصر القديمة ومنطقة جبل طره ومنطقة حلوان وخواصها الفيزيائية مثل الكثافة الكلية والوزن النوعى والمسامية والنفاذية وامتصاص الماء والخواص الميكانيكية وتشمل قوة تحمل الصخور للضغط وقوة تحمل للشد والقص وعلاقة هذه الخواص بتلف المآذن الأثرية إلى جانب دراسة الطوب المحروق (الآجر) من حيث أساليب صناعته وإعداده واستخدامه فى بناء المآذن الأثرية وكذلك دراسة الرخام من حيث مصادر الحصول عليه وأهم هذه المصادر الرخام فى منطقة أبوسويل ومنطقتى الدغبج والجندى إلى جانب الحصول عليه من العمائر القديمة المتهدمة أو من مصادر خارجية مثل إيطاليا ودمشق وفلسطين وقبرص وجزيرة كريت وأنواعه ودوره فى بناء المآذن الأثرية والأخشاب من حيث أنواعها ومصادرها إلى جانب دراسة استخدام النحاس فى صناعة أهله المآذن الأثرية واستخدام ألواح الرصاص فى تكسيه قمم المآذن العثمانية المدببة والتى كان يطلق عليها طراز القلم الرصاص بالإضافة إلى دراسة

المونات المستخدمة فى بناء المآذن الأثرية وأهمها مونتى الجبس والجير إلى جانب بعض المونات الأخرى التى كانت تستخدم كإضافات للمونات مثل القصروميل والبوتسلانا والحمرة .

## الفصل الثالث

تناول هذا الفصل دراسة عوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية وتشمل العوامل الفيزيوكيميائية المتمثلة فى الرطوبة والتغيرات فى درجات الحرارة والمياه الأرضية وتشمل هيدرولوجية المياه الجوفية بمنطقة القاهرة الكبرى وتتضمن الصفات الهيدرولوجية للخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى والمصادر الرئيسية لمياه الخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى وحركة المياه الجوفية فى الإقليم وتبلور الأملاح والضغط الناشئ عن تبلورها وتأثير الرياح والتلوث الجوى والملوثات الهوائية وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية بالإضافة إلى دراسة التربة وتداعياتها وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية وتتضمن دراسة التربة ذات المشاكل وتشمل أربع أنواع هى التربة القابلة للإنهيار والتربة القابلة للانتفاش والتربة الطينية اللينة وتربة الردم إلى جانب دراسة مقاومة القص للتربة وانضغاطية وتشكل التربة وأسباب الهبوط وتأثيره على المآذن الأثرية وأسباب عدم إتزان المآذن الأثرية وكذلك الأحمال وما تحدثه من تلف سواء الأحمال الرأسية من أحمال دائمة وأحمال حية أو الأحمال الأفقية المتمثلة فى أحمال الرياح والزلازل إلى جانب دراسة الكوارث الطبيعية ومنها تأثير الزلازل ومخاطر السيول إلى جانب دراسة التلف البيولوجى وتأثير الكائنات الحية الدقيقة من بكتريا وفطريات وطحالب واشنة على تلف المآذن الأثرية بالإضافة إلى التلف البشرى المتمثل فى الأخطاء التصميمية والإنشائية خلال عمليات بناء المآذن الأثرية والترميم الخاطئ وحركة النقل والمواصلات والأعداد الكبيرة من السائحين والزائرين إلى جانب التعديات والاشغالات وتأثيرها فى تلف المآذن الأثرية مع توضيح أمثلة لمظاهر التلف الناتجة عن عوامل التلف المختلفة السابقة .

## الفصل الرابع

تضمن هذا الفصل دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية وتشتمل على الدراسات التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة وتتناول الدراسة التاريخية الأثرية والأعمال السابقة والتسجيل والتوثيق الأثرى للوضع الراهن للمآذن الأثرية والرصد المساحى وتحديد مدى اتزان ورأسية المآذن الأثرية والفحوص والتحاليل لمواد بناء المآذن الأثرية بالطرق المختلفة وتتضمن الفحص بواسطة الميكروسكوب الضوئى والميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإلكترونى الماسح والتحليل بواسطة حيود الأشعة السينية وتفلور الأشعة السينية والتحليل بواسطة الامتصاص الذرى والأشعة تحت الحمراء وغيرها إلى جانب دراسات التربة والأساسات وتشمل عمل حفر استكشافية للكشف عن الاساسات لتحديد شكل ونوع وأسلوب التأسيس المستخدم للمئذنة ودراسات التربة وتشمل عمل الجسات فى التربة لتحديد نوع وتتابع طبقات التربة وقياس منسوب المياه الأرضية بموقع المئذنة وقياس الخواص المختلفة للتربة مثل إيجاد التدرج الحبيبى للتربة وتعيين حدود القوام للتربة والتحليل الكيميائى للمياه الأرضية وغيرها وكذلك التحليل الإنشائى لها باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلى كما اشتمل هذا الفصل على عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية وتتضمن خفض منسوب المياه الأرضية والترميم والتدعيم الإنشائى ويتناول علاج التربة ذات المشاكل وتقوية وتدعيم الأساسات كذلك عمليات الترميم المعمارى من استكمال للأجزاء الناقصة والمفقودة وأعمال الفك وإعادة البناء

واستبدال الكتل الحجرية التالفة واستكمال الأجزاء الناقصة الحاملة للزخارف والنقوش بالإضافة إلى أعمال الترميم الدقيق للمآذن الأثرية وتتضمن عمليات التنظيف لأسطح المآذن الأثرية وأعمال العزل الأفقي لأساساتها وجدرانها واستخلاص وإزالة الأملاح إلى جانب تقوية وعزل الأسطح الحجرية لصيانتها من التلف مرة أخرى .

## الفصل الخامس

تناول هذا الفصل التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث ، أثر رقم (٢٨٦) بمنطقة عين الصيرة وقد تم ذلك كما يلى

**أولاً** : تم عمل الدراسة التاريخية والوصف الأثرى والمعمارى للمئذنة وكذلك تسجيل الوضع الراهن للمئذنة وتوثيقها أثرياً بواسطة التسجيل الفوتوغرافى والتسجيل المعمارى والرفع المساحى .

**ثانياً** : تم إجراء أعمال الرصد المساحى للمئذنة بواسطة جهاز محطة الرصد المتكاملة Total Station حيث اتضح بتحليل الأرصاد وجد أن الجزء الثمانى به إزاحة عن قاعدة المئذنة المربعة الشكل بمقدار ٣,٥ سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى وكذلك إزاحة مقدارها ٢,١ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى ، ونجد أن محصلة هذه الإزاحات تبلغ ٤,١ سم فى الاتجاه الشمالى .

و بتحليل الأرصاد وجد أن الجزء الإسطوانى به إزاحة عن الجزء الثمانى للمئذنة بمقدار ٢,٦سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى ، وكذلك إزاحة مقدارها ١,٨ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى وتبلغ محصلة هذه الإزاحات ٣,٢ سم فى الاتجاه الشمالى .

وبالنسبة للميول وجد أن الجزء الثانى الثمانى الشكل للمئذنة يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 21″ 37′ 00° وذلك فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 01″ 34′ 00° وبمحصلة مقدارها 31.02″ 50′ 00° بزاوية 12// 08′ 68° على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى .

كما وجد أن الجزء الثانى الإسطوانى يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 03″ 56′ 00° فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية مقدارها 22″ 53′ 00° على الاتجاه الرأسى ، بمحصلة مقداراها 23.16″ 14′ 01° بزاوية 57″ 23′ 72° على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى .

**ثالثاً** : تم إجراء الفحوص والتحاليل والدراسات الخاصة بمواد البناء والتربة والأساسات ومظاهر تلف المئذنة وذلك كما يلى :

(١) تم فحص الحجر الجيرى المستخدم لبناء مئذنة يشبك من مهدى بواسطة الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope حيث اتضح أنه حجر جيرى نيموليتى يتكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت دقيق التحبب Fine Grained Calcite وملئ بحفريات النيموليت والفورامينفرا إلى جانب انتشار أكاسيد الحديد والمعادن الطينية ووجود الطحالب مع الحفريات إلى جانب وجود حبيبات دقيقة من معدن الكوارتز .

(٢) تم فحص الحجر الجيرى باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] حيث أتضح تعرض بلورات الكالسيت إلى التآكل بفعل ذوبان بعض مكوناتها كما فقدت الأحجار المادة الرابطة بين حبيباتها بفعل تبلور الأملاح وتأثير الرطوبة والتلوث الجوى.

(٣) تم التحليل والدراسة لعينات من الحجر الجيرى ومونة بناء المئذنة والأملاح بواسطة حيود الأشعة السينية XRD وقد جاءت النتائج كالتالى

أ- تبين أن الحجر الجيرى يتكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت $CaCO_3$ رقم الكارت (5-0586) إلى جانب وجود معدنى الكوارتز $SiO_2$ رقم الكارت (5-0490) و الـهاليت NaCl رقم الكارت (5-0628) .

ب- أتضح أن المونة المستخدمة لبناء المئذنة مكونة من الجبس بصفة أساسية $CaSO_4.2H_2O$ ومعدن الكالسيت $CaCO_3$ رقم الكارت (5-0586) رقم الكارت (6-0046) بالإضافة إلى معدن الكوارتز (الرمل $SiO_2$) رقم الكارت (5-0490) وكذلك معدن الدولوميت $Ca,Mg(CO_3)$ رقم الكارت (11-078) بجانب ذلك وجد معدن الهاليت NaCl ضمن مكونات المونة رقم الكارت (5-0628) وهو مظهر من مظاهر التلف وليس ضمن المكونات الأساسية للمونة .

جـ - تبين وجود نوعين من الأملاح هما ملح الهاليت NaCl رقم الكارت (5-0628) وملح الجبس $CaSO_4.2H_2O$ رقم الكارت (6-0046) .

(٤) تم تعيين الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى حيث بلغت قيمة الكثافة الكلية ٢,١٤ جم/سم٣ كما بلغت قيمة امتصاص الماء ٩,١٨% أما المسامية فبلغت ١٩,٤٨% أما الخواص الميكانيكية فقد تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية فى قياسها فبلغت قوة تحمل الأحجار للضغط ٢٧٠كجم/سم٢ وقوة تحملها للشد بلغت ٢٤كم/سم٢ وأحتوت الأحجار على محتوى رطوبة تراوح ما بين ٠,٤% و ٧,٨% طبقاً لمقدار ارتفاع موقع العينة عن سطح الأرض حيث تقل النسبة كلما ارتفاعاً إلى أعلى .

(٥) تم إجراء دراسة ميكروبيولوجية للأحجار الجيرية بالمئذنة حيث تبين وجود بكتريا كروية Cocci Bacteria موجبة لصبغة جرام ونوعين من الفطريات هما فطر الأسبيرجيللس Aspergillus SP. وفطر البنسيليوم Pencillium SP. وبإجراء العدد الكلى للبكتريات والفطريات والخمائر أتضح أن العدد الكلى للفطريات والخمائر (١٢×١٠ ٣ خلية ، جرام) والعدد الكلى للبكتريا (٩٨ ×١٠ ٤ خلية / جرام) .

(٦) تم إجراء دراسات للتربة بموقع المئذنة حيث تبين من خلال ثلاثة جسات تم عملها بعمق ١٥ متراً أن التربة تتكون من طبقة من الردم حتى عمق يتراوح بين ٥,٤م ، ٥,٧م من صفر الجسات ثم طبقة من الحجر الجيرى تمتد حتى نهاية عمق الجسات .

(٧) تبين أن أساسات المئذنة عبارة عن حوائط حاملة من الحجر الجيرى بنفس سمك جدران المئذنة ويبلغ عمقها ٣,٣متر من منسوب الأرض الطبيعية .

(٨) تم قياس منسوب المياه الجوفية بواسطة البيزوميترات فى موقع المئذنة وتبين أنها على عمق ٣,٢متراً من سطح الأرض .

(٩) تم دراسة طبيعة وخواص التربة الحاملة للمئذنة من خلال جستين بعمق ٣أمتار لكل منهما حيث تم إجراء تحليل ميكانيكى لحبيبات التربة وتحديد قوام التربة وتعيين حد كلاً من السيولة و اللدونة والانكماش كما تم قياس محتوى التربة من كربونات الكالسيوم وتركيز الأملاح الكلية الذائبة وتعيين الرقم الهيدروجينى للتربة (PH Value) كما تم قياس تركيز أيونات الأملاح الذائبة فى التربة وقد اختلفت النتائج من طبقة إلى أخرى خلال عينات القطاعين مما يوضح أن تربة الردم المقام عليها المئذنة مختلفة فى خواصها من طبقة لأخرى وبالتالى فهى غير متجانسة ويختلف سلوكها الإنشائى من طبقة إلى أخرى.

(١٠)تم إجراء تحليل إنشائى للمئذنة بواسطة النماذج الرقمية للحاسب الآلى باستخدام برنامج التحليل الانشائى SAP 2000 لمعرفة الاجهادات التى تتعرض لها المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية والأفقية وأتضح أن أقصى إجهاد ضغط تتعرض له المئذنة فى الوضع الراهن هو ٢٨كجم/سم٢ وأقصى إجهاد شد يبلغ ٩,٦كجم/سم٢ أما فى حالة استكمال منطقة الجوسق وقمة المئذنة فسيبلغ أقصى إجهاد ضغط ٩,٦كجم/سم٢ وأقصى إجهاد شد ١,٧كجم/سم٢ وهى قيم آمنة ولا تؤثر على اتزان المئذنة حيث تتحمل أحجار المئذنة قوة الضغط حتى ٢٧٠كجم/سم٢ وقوة شد حتى ٢٤كجم/سم٢ .

(١١) تم إجراء دراسات للمحيط البيئى للمئذنة من الناحية التخطيطية والعمرانية حيث أتضح وجود محورين رئيسيين للوصول إلى المئذنة هما شارعى الإمام الشافعى وعين الصيرة كما أتضح وجود مساكن عشوائية بالمنطقة تبلغ ارتفاعاتها دور واحد أو دورين أو ثلاثة أدوار ولا توجد شبكة للصرف الصحى ويتم الصرف من خلال نظام الآبار وتوجد شبكة داخلية لمياه الشرب بينما لا توجد أى شبكات لإطفاء الحريق بالمنطقة والمنطقة فقيرة فى خدماتها وتعتبر محطة أتوبيس الإمام الليث بشارع عين الصيرة ومحطة الأتوبيس بالإمام الشافعى هما وسيلتا المواصلات الرئيسيتين بالمنطقة .

**رابعاً** : تم عمل دراسة تجريبية معملية للعلاج والترميم لاختيار أنسب الطرق والمواد لتطبيقها لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى كما يلى :

(١) تم إجراء دراسة تجريبية معملية لتنظيف وإزالة السناج وأتضح أن المحلول المكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والاسيتون والتراى كلورو إيثيلين بالنسب ٢ :١ :٢ :١ على الترتيب وكذلك المحلول المكون من الطولوين والأسيتون بنسبة ١:٢ على الترتيب هما أفضل المحاليل التى تم تجربتها وأعطت أفضل النتائج إلى جانب كمادة مورا التى أعطت كفاءة عالية فى إزالة طبقات السناج الكثيفة على الأسطح المتماسكة .

(٢) تم إجراء دراسة تجريبية معملية لتقييم المواد المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بمئذنة يشبك من مهدى وقد تم التوصل إلى أن أفضل المواد المختبرة لتقوية أحجار المئذنة هى مادة Ethyl Silicate [Tetra Ethoxy Silane] وأفضل مادة لعزل أسطح أحجار المئذنة هى مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وإذا أردنا تحقيق الوظيفتين للتقوية والعزل بمادة واحد يمكن استخدام مركب Silo111 أما أفضل مركب للعزل الأفقى للأساسات والجدران للمئذنة عن مصادر الرطوبة فهو مادة Wacker SMK 550 وهى مستحلب مائى من السيلان والسيلوكسان .
أما المونات فقد تبين أن المونة المكونة من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الطوب الأحمر بنسبة ١:٢:٣ على الترتيب أعطت أفضل النتائج من بين المونات التى تم اختبارها يليها المونة المكونة من الرمل لجير والأسمنت الأبيض بنسبة ٣ :١:١ ويفضل استخدامها فى مئذنة يشبك من مهدى لأنها تلائم الاستخدام مع الحجر الجيرى أكثر من المونة الأخرى وقد أعطت مادة إيثيل سيليكات Ethyl Silicate أفضل النتائج من حيث تقوية المونات كما أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج فى عزل المونات تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane .

**خامساً** : تم إعداد خطة لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى كما يلى :

(١) إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات حتى منسوب أرضية المئذنة .

(٢) عمليات الترميم المعمارى للمئذنة وتشمل وضع تصور لكل من :

أ – استكمال قمة المئذنة المفقودة .
ب – عمل سلم خارجى للمئذنة يصل بين منسوب الأرض وباب المئذنة .
جـ – استكمال بعض كتل الأحجار المفقودة أسفل باب المئذنة .
د – استبدال كتل الأحجار التالفة من قاعدة المئذنة .

(٣) إجراء عمليات الترميم الدقيق للمئذنة وتشمل :
أ – عمليات التنظيف الميكانيكى للعوالق والتكلسات والبللورات الملحية المتزهرة على السطح.

ب – عمليات التنظيف الكيميائى لإزالة السناج باستخدام محلول مكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والاسيتون والتراى كلور وإيثيلين بالنسب ٢:١:٢:١ على الترتيب ومحلول مكون من الاسيتون

والطولوين بنسبة ٢:١ على الترتيب إلى جانب استخدام كمادة مورا. كما استخدم محلول مكون من خليط من استيات الأميل والاسيتون بنسبة ١:٣ على الترتيب وكذلك محلول التراى كلورو إيثيلين والزايلين .

جـ - لإزالة بقع الزيت والشحم كما استخدام محلول داى ميثيل فورماميد ومحلول كلوريد الميثيلين لإزالـــة بقع الألوان بالمئذنة .

د - إجراء عملية العزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة بأسلوب الحقن باستخدام مادة Wacker SMK550 .

هـ - استخدام الكمادات الورقية فى استخلاص الأملاح القابلة للذوبان من جدران المئذنة .

و - إجراء عملية التقوية للأسطح الحجرية المتآكلة والمفككة والتالفة للمئذنة باستخدام مادة Ethyl Silicate بأسلوب الرش .

ز - تنظيف وملء اللحامات بين كتل الأحجار باستخدام مونة مكونة من الجير وبودرة الحجر بنسبة ١:٢ مـع استخدام ماء الجير فى الخلط .

ح - إجراء عملية العزل الرأسى للواجهات الحجرية الخارجية للمئذنة باستخدام مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بأسلوب الرش لحماية وصيانة المئذنة من التلف مرة أخرى .

**سادساً** : أعمال تأهيل وتنسيق الموقع المحيط بمئذنة يشبك من مهدى

# الأعمال السابقة Previous Work

هناك العديد من الدراسات التى تناولت المآذن الأثرية من حيث ظهورها وتطورها والعناصر المكونة لها والطرز المعمارية المميزة لها بمدينة القاهرة خلال العصور الإسلامية المختلفة وكذلك مواد بناءها من أحجار جيرية وطوب محروق (آجر) بالإضافة إلى الرخام والأخشاب والمونات وكذلك عوامل ومظاهر التلف التى تعانى منها الآثار الحجرية وتؤدى إلى تدهورها وتعرضها للانهيار كما أن هناك دراسات أشارت إلى الطرق والأساليب التى تتبع لعلاج وترميم وصيانة الآثار الحجرية من التلف ومن هذه الدراسات .

## ١) الدراسات التى تناولت المآذن الأثرية من حيث نشأتها وتطورها المعمارى وطرزها المختلفة خلال العصور الإسلامية

- تناول ( **ابن جبير الأندلسى** ) عام ١٩٠٧م [١] إطلاق اسم منارة على المئذنة أياً كان شكلها أما كلمة صومعة فقد أطلقت على المآذن التى يغلب عليها الشكل المربع .
- ذكر **(Rivoira)** عام ١٩١٣م [٢] أن المساجد الأولى كانت تخلو من عنصر المئذنة مثل مسجد الكوفة (١٧هـ - ٦٣٨م ) والمسجد الجامع بالبصرة (١٦هـ - ٦٣٧م) .
- أشار **(Creswell)** عام ١٩٢٦م [٣] إلى ما ذكره بتلر من أن منار الإسكندرية اتخذ نموذجاً للمآذن المصرية والذى كان يتكون من برج قاعدته مربعة الشكل ثم يعلوها بدن مثمن الشكل ثم بدن مستدير ثم يعلوها عند القمة مصباح .
- تناول (**أحمد**) عام ١٩٣٨ م[٤] ظهور التأثيرات العثمانية فى بعض المآذن المملوكية منذ نهاية القرن الرابع عشر مثل مئذنة جامع الكردى (١٣٩٥م) .
- ذكر **(Hassaid)** عام ١٩٣٩م [٥] أن لفظ المئذنة اشتق من الآذان للصلاة وتعنى المكان الذى ينطلق منه صوت المؤذن للنداء للصلاة .
- أشار ( **حسن** ) عام ١٩٤٦م [٦] إلى أن كلمة منارة أو منار أطلقت على المئذنة وكلمة منار مشتقة من فعل " أنار" أى أشعل وبالتالى فإن كلمة منار وجمعها "منائر" تعنى المكان الذى ينبعث منه النور أو تشعل فيه النار .
- ذكر (**شافعى**) عام ١٩٥٢م [٧] وصفاً لمئذنة جامع أحمد بن طولون وأشار إلى أن بناء القنطرة التى تصل بين المئذنة والجامع جاء متأخراً عن زمن بناء الجامع .

---

(١) ابن جبير الأندلسى ( أبو الحسين محمد بن أحمد) : رحلة ابن جبير ، نشر وليام رايت ، ليدن ، ١٩٠٧م، ص٣٣٢.

( 2) Rivoira, G. T.: Moslem Architecture, Its Drigins And Development, Oxford, 1913,P.92.

( 3) Creswell (K.A.C) : The Evolution Of The Minaret, Burlingtion Magazine, Mars,1926, P.8.

(٤) محمود أحمد : دليل موجز لأشهر الآثار العربية بالقاهرة ، القاهرة ، ١٩٣٨م، ص١٨٨ .

( 5) Hassaid, S.: The Sultan's Turrels, Cairo, 1939, P.16.

(٦) زكى محمد حسن : تطور المآذن ، مجلة الكتاب، سبتمبر ، ١٩٤٦م، ص٧١٨ .

(٧) فريد شافعى : مئذنة جامع أحمد بن طولون ، رأى فى تكوينها المعمارى ، مجلة كلية الآداب ، المجلد الرابع عشر ، الجزء الأول ، مايو ، ١٩٥٢م ، ص٣٥.

- تناول (Shafi) عام ١٩٥٤م [١] بالوصف مئذنتا جامع الحاكم بأمر الله وذكر أن بيبرس الجاشنكير قد قام بالعديد من الاصلاحات لهاتين المئذنتين بعدما أصيبتا من جراء زلزال عام (١٣٠٣م) وهو الزلزال الذى سبب هدم قمتى المئذنتين .
- أشار (سالم) عام ١٩٥٨م [٢] إلى أن المآذن الأثرية فى عصر المماليك البحرية اتخذت شكلاً عــرف (بالمبخرة ) ومن أمثلتها مئذنة زاوية الهنود (١٢٥٠م) .
- تناول (سالم) عام ١٩٥٩م [٣] المآذن المصرية من حيث أصلها وتطورها وأهم مميزات طرز المــآذن المصرية وأهم أمثلتها خلال العصور الإسلامية المختلفة .
- ذكر (سامح) عام ١٩٧٠م [٤] أن هناك بعض المآذن التى ظهرت فى نهاية القرن التاسع الــهجرى - الخامس عشر الميلادى وبقمتها رأس مزدوجة كل منها مربع القطاع ومن أمثلتــها مئذنــة الســلطان الغورى بالجامع الأزهر .
- أشار (Sameh) عام ١٩٧٢م [٥] إلى أن المآذن فى العصر العثمانى زاد ارتفاعها واتسمت بالشــكل المتعدد الأضلاع الذى يقترب من الإسطوانى تعلوه قمة مخروطية مدببة بحيث تتخذ المئذنة شكل القلــم الرصاص .
- ذكرت (Abousief) عام ١٩٨٥[٦] المميزات العامة للمآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة من الناحيتين المعمارية والزخرفية .
- تناول (Waked) عام ١٩٩٢م [٧] الأجزاء المختلفة التى تتكون منها المآذن وكذلك طرزها المعمارية المتعددة .
- ذكر ( Abdel Aty) عام ١٩٩٩م[٨] الأسماء التى أطلقت على المئذنة وكذلك نشأتها وتطورها خلال العصور الإسلامية المختلفة وكذلك أهم أمثلة المآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة والتــى تتخذ كنماذج لتطورها .

---

( 1) Shafi, F. : West Islamic Influences On Architecture In Egypt, B.F.A.C.U., XCI, Part II, December, 1954, PP.6-9.

(٢) السيد عبد العزيز سالم ، القاهرة مدينة المآذن ، المجلة ، العدد السادس عشر ، إبريل ، ١٩٥٨م، ص٢١٦.

(٣) السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ،الإسكندرية ، ١٩٥٩م،ص٣.

(٤) كمال الدين سامح : العمارة الإسلامية فى مصر ، مكتبة النهضة المصرية ، القاهرة ، ١٩٧٠م ، ص٦٢٨.

( 5) Sameh, K.: Evolution Of Minarets In Egypt, Cairo, 1972, P.174.

( 6) Abousief, D.B.: The Minarets Of Cairo, A.U.C. Press, Cairo, 1985. P. 50

( 7) Waked, K.I.: Structural Design Of Mosques, Al – Handasa For Publishing And Distribution., Cairo, 1992, P.218.

( 8) Abd El – Aty, Y.Y.A. : Structural Analysis Of Historical Masonaty Islamic Building Using Computer Numerical Modelling Techniques With An Application On Prince Saraghatmash School In Cairo, Master, Conservation Dep. Cairo Uni., 1999, P. 27.

## ٢) الدراسات التى تناولت مواد بناء الآثار الحجرية

- تناول (Glock) عام ١٩٢٣م[1] الصخور الجيرية وذكر أنها تتكون من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم وفوسفات الكالسيوم وثانى أكسيد السيليكون بنسب متفاوتة.
- ذكر (Pirsson) عام ١٩٢٤م [2] أن هناك بعض أنواع البكتريا تعمل على اختزال النترات المذابة فى ماء البحر إلى نيتريت الذى يتحول إلى نشادر تتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون لتكـــون كربونـــات الأمونيوم التى تتفاعل مع كبريتات الكالسيوم من المحلول فتكون كربونات الكالسيوم ويترسب بالتـــالى الحجر الجيرى العضوى .
- أشار (Merrill) عام ١٩٣٠م [3] إلى أن الخواص الميكانيكية لأحجار البناء لها دور هام فى بقاء المبنى الأثرى بحالة جيدة لأطول فترة ممكنة .
- ذكر (Shaffer) عام ١٩٣٢م [4] أنه عند اختيار الأحجار لإجراء عمليات الترميم أو الاســـتكمال للمآذن الأثرية فيجب اختيار أحجار تتميز بكثافة عالية (أعلى من ٢,٢ جم/سم٣)
- تناول (Windes) عام ١٩٥٠ م [5] خاصية المسامية للأحجار الجيرية وذكر أن هناك عـــامل هام يتحكم فى نسبة مسامية الأحجار الجيرية وهو شكل المسام وأحجامها .
- ذكر (Shukri) عام ١٩٥٤ م [6] أن تكوين الجبل الأحمر ضمن التتابع الطبقي لجبل المقطم يتكون من طبقات من الرمال التى تكثر بها أكاسيد الحديد وكذلك الأشجار المتحفرة إلى جانب بعض صخـور الكوارتزيت التى تستخدم فى عمليات الزخرفة .
- أشار (Blair) عام ١٩٥٦ [7] إلى أن خاصيتى المسامية والنفاذية من أهم الخواص الفيزيائيـــة للأحجار الجيرية التى تتحكم فى تلف وتحلل الأحجار حيث أنهما تتحكمان فى مقدار الماء الـــذى ينفـذ إلى داخل الأحجار وبالتالي القيام بدوره فى عمليات التلف وتنشيط التفاعلات الكيميائية .
- ذكر (Jane) عام ١٩٦٢ م [8] أنواع الأخشاب اللينة Soft wood ومن أمثلتـــها خشـــب الأرز Cedar وخشب العرعر Juniper
- تناول (Said) عام ١٩٦٢ م [1] الوصف العام لجبل المقطم وذكر أنه ينقسم إلى ثلاثة هضاب هـــى الهضبة السفلى والهضبة الوسطى والهضبة العليا .

---

(1) Glock, W.S.: Algae As Limestone Makers And Climate Indicators, Amer. Jour. SCI. No . 6, 1932, P.377.

(2) Pirsson And Schuchert : Textbook Of Geology, Part2, Nd Ed. 1924,P.176.

(3) Merrill, G.P.: Stones For Building And Decoration , Johnwiley, New York, 1930,P.13.

(4) Shaffer, R.J. The Weathering Of Natural Building Stones, Harrison And Sons, London, 1932,P.9.

(5) Windes , S.L . : Physical Properties Of Mine Rock , Part II , U.S Bur . Mines Rep .Inv. 4727, 1950 , P. 42

(6) Shukri , N.M. : On Cylindrical Structure And Colouration Of Gabal Ahmer Near Cairo, Egypt , Bull. Sci. , Cairo Uni. , Vol. 32 , 1954, P. 12

(7) Blair , B.E. : Physical Properties Of Mine Rock , Part IV , U. S. , Bur . Mines Rep . Inv. 5130, 1956, P. 215

(8) Jane , F. W. : The Structure Of Wood , London , 1962 , P. 36

- أشار ( Martin ) عام ١٩٦٤ م [٢] إلى أن الهضبة الوسطى بالمقطم تتكون من نطاقين هما نطاق حجر البناء العلوى ونطاق ( تكوين الجيوشي ) الذى يتكون من الصخور الجيرية التابعة لتكوين الجيوشي ( زمن الأيوسين الأعلى ) .
- ذكر ( **تيريل** ) عام ١٩٦٧ م [٣] أن بعض أنواع الأحجار الجيرية كالصخور المرجانية مثلا تتبلور فيها كربونات الكالسيوم على هيئة معدن الأرجوانيت غير الثابت والذى يتحول إلى معدن الكالسيت الثابت لذلك يندر وجود معدن الأرجوانيت فى الأحجار الجيرية .
- تناول ( **عبد الجواد** ) عام ١٩٧٠ م [٤] أن المصريين كانوا يستخدمون جذوع النخل فى إنشاء الأسقف وربط جدران المآذن المشيده من الآجر وفى البراطيم الخشبية التى تحمل شرفات المآذن الأثرية.
- أشار ( **ناشد** ) عام ١٩٧٢ م [٥] إلى أن الجالينا Galena من أهم خامات الرصاص الذى استخدم فى تكسيه قمم المآذن العثمانية المدببة وخام الجالينا عبارة عن كبريتيد الرصاص PbS
- تناول ( **Winkler**) عام ١٩٧٣ م [٦] بالذكر أن مقاومة الأحجار لعوامل التلف المختلفة تعتمد بشكل كبير على خواصها الفيزيائية والميكانيكية .
- ذكر ( Lew cock ) عام ١٩٧٨ م [٧] استخدام الجير كمونة لبناء المآذن الأثرية مع الرمل كمادة مالئة وقد يضاف اليه نسبة من الجبس فى بعض الحالات .
- تناول ( Komar ) عام ١٩٧٩ م [٨] التركيب الكيميائي للجبس وهو عبارة عن كبريتات الكالسيوم المائية التى تحتوى على جزيئين ماء $CaSO_4 . 2H_2O$
- ذكر ( **لبيب** ) عام ١٩٨٢ م [٩] أماكن وجود خام النحاس فى شبة جزيرة سيناء بمنطقة مغارة وسرابيت الخادم كما توجد بالصحراء االشرقية في وادى عربة شمالا ومنطقتى أم سميوكى وأبو سيال جنوبا .

---

( 1) Said ,R.: The Geology Of Egypt , Amesterdam , Elsevier Pub. Co. , 1962 , P. 377

( 2) Martin , L. et al: Cairo Area , Geol . And Arch. , Egypt , Petrol . Expt. Soc. Of Libya , 1964 , Pp. 107 -121

(٣) ج. د. تيريل : مبادئ علم الصخور ، ترجمة : محمد كمال الدين العقاد وآخرون ، المركز القومى للإعلام والتوثيق ، ١٩٦٧م ، ص ٢٦١-٢٦٢

(٤) توفيق أحمد عبد الجواد : تاريخ العمارة والفنون الإسلامية ، بدون مكان نشر ، ١٩٧٠ م ، ص ٢٢٢

(٥) مختار رسمي ناشد : قدماء المصريين واقتصاديات علم الجيولوجيا ، رسالة العلم ، المجلد ٣٩،العدد١، مارس ، ١٩٧٢ م ، دار مصر للطباعة ، القاهرة ، ص ٥٦

( 6) Winkler , E. M . : Stone Properties , Durability In Man's Environment Springer- Verlag, New York , 1973 , P. 6

( 7) Lewcock , R. : Building Materials And And Components , Mir Publishers , Moscow , 1979, P. 118

( 8) Komar , A. : Building Materials And Components , Mir Publishers , Moscow , 1979 , P. 118

(٩) لبيب سمير : دراسة تاريخية لاستغلال الخامات المعدنية فى الصحراء الشرقية فى مصر الفرعونية والنشاط الاقتصادى المتصل بها ، رسالة ماجستير ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية ، ١٩٨٢ ، ص ١٨

- أشار ( Torraca ) عام ١٩٨٢ م [١] إلى أن البراكين تنتج رماداً مثل رماد الأفران أطلق عليه اسم البوتسلانا Pozzolana نسبة إلى المدينة الإيطالية Pozzuoli.
- تناول (Pettijhon) عام ١٩٨٤م [٢] أن الأحجار الجيرية تتميز بوجود تركيب طبقي واضح كما أنها غنية في أنواع عديدة منها بالحفريات كما نجد اختلافاً كبيراً بين أنواع الحجر الجيري من حيث التبلور فبعضها دقيق الحبيبات جداً وبعضها يكون كامل التبلور .
- ذكرت (Luciana) عام ١٩٨٥م [٣] أن الرخام المتحول عن الصخور الجيرية يكون ذو تركيب متجانس وله جوده فنية وتقنية عالية في التشغيل نظراً للتركيب الذي يتميز به ويشبه حبيبات السكر ويسمى بالتركيب السكري Saccharoidal Structure
- أشار (ربيع) عام ١٩٨٥م [٤] إلى أن معدن الرصاص لعب دوراً هاماً في تكسيه قمم المآذن العثمانية المدببة بألواح الرصاص وهناك بعض الإشارات إلى جلب صناع روم من تركيا عند تكسيه قمم المآذن بالرصاص في العصر العثماني .
- ذكر (Strougo) عام ١٩٨٥م [٥] أن هضبة المقطم السفلي تتكون من سطح صخري يرتفع عن مدينة القاهرة بحوالي ٥٠ متراً إلى ٨٠ متراً .
- تناول (Ashurst) عام ١٩٨٨م [٦] أن معظم رواسب معدن الجبس تتكون بشكل أساسي نتيجة لتبخر ماء البحر المحتوي على كميات كبيرة من كبريتات الكالسيوم على هيئة محاليل .
- ذكر (Mills) عام ١٩٩٠م [٧] أن الصخور الجيرية تختلف في خواصها الميكانيكية تبعاً لظروف نشأتها وتكوينها وترسيبها والمكونات المعدنية والنسيج الصخري لها .
- تناول (سامح) عام ١٩٩١م [٨] استخدام الرخام كمادة بناء لها وظيفة إنشائية في مآذن العصر المملوكي حيث كانت تستخدم أعمدة من الرخام عددها غالباً ثمانية أعمدة في حمل الجوسق الذي تنتهي به قمة المئذنة .

---

(1) Torraca , G. : Porous Building Materials , Materials Science For Architectural Conservation , Second Ed , ICCROM, Rome, 1982,P.71.

(2) Pettijhon, E.J.: Sedimantary Rocks, C.B.S. Publishers And Distributers India, 1984,P.13.

(3) Luciana And Tiziano, M.: Marble, The History Of Aculture, Factson File Publications, New York, Oxford, England, 1985, P.37.

(٤) ربيع حامد خليفة : فنون القاهرة في العصر العثماني (١٥١٧م – ١٨٠٥م ) ، مكتبة نهضة الشرق ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٥م ، ص٩١.

(5) Strougo, A. : Eocene Stratigraphy Of The Eastern Greater Cairo ( Gabal Mokattam – Helwan Area) Mid. East Res. Ain Shams Uni., SC. Res. Ser. Vol 5,1985,P.8.

(6) Ashurst, J. And Ashust, N. Practical Building Conservation, Vol. 1, Stone Masonary, English Hertiage, Technical Hand Book, England, 1988,P.27.

(7) Mills, R.: Structural Failure And Repair, In : Conservation Of Buildings And Decorative Stone, Vol, 2, London, 1990, P.239.

(٨) كمال الدين سامح ، العمارة الإسلامية في مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة ، ١٩٩١م ، ص٢٠٤

- أشار (**Swedan**) عام ١٩٩١م [١] إلى أن مساحة القاهرة الكبرى تبلغ ٣٥٧,٥ كيلو متراً مربعاً وتقع بين خطى عرض ٤٠/ ٢٩ ° ، ١٠/ ٣٠ ° شمالاً وخطى طـــول ٣١ ° ، ٤٠ ٣١ ° شـــرقاً وتشـــمل محافظات القاهرة والجيزة والأجزاء الجنوبية من محافظة القليوبية .
- ذكر (**Fitzner**) عام ١٩٩٣م [٢] أن مسامية الصخور النارية والمتحولة تعتبر منخفضة وهى عـــادة أقل من ٥% ولكنها قد تصل إلى ٣٠% فى بعض أنواع الصخور الرسوبية .
- تناول (**موسى**) عام ١٩٩٤م [٣] أن المئذنة الأولى التى شيدت وقت إنشاء جامع أحمد بن طولون كـان من الطوب المحروق(الآجر) ولكنها لم تستمر حيث أعيد بناءها من الحجر الجيرى فى عصر السـلطان لاجين السيفى المملوكى (٦٩٦هـ – ١٢٩٦م ).
- ذكر (**عبيدو**) عام ١٩٩٥م [٤] أن الكثافة الكلية للأحجار هى العلاقة بين وزن العيـــن إلـــى الحجـم الخارجى لها دون حساب المسام الداخلية الموجودة فى تركيب الأحجار .
- تناول (**صبرى**) عام ١٩٩٦م [٥] عمليات تشكيل النحاس على البارد والتى نستطيع بواسطتها عمل أهلة المآذن عن النحاس المطروق المفرغ وتشمل عمليات القص والحنى والتقبيب .
- ذكر (**شمس**) عام ١٩٩٦م [٦] أن غابات المناطق المعتدلة أخشابها متوسطة اللون والصلابـــة وأوراق أشجارها ضيقة وعريضة تسقط فى الشتاء وتعد من أجود أنواع الأخشاب .
- تناولت ( **أكاديمية البحث العلمى** ) عام ١٩٩٧م [٧] الوصف العام لجبل المقطم وذكـــرت أنـــه يمـــثل مساحة صغيرة جداً تقع فى أقصى الشمال الغربى لهضبة المغرة بالصحراء الشرقية والمكونــــة مـــن الحجر الجيرى.
- أشار ( **رشوان**) عام ١٩٩٩م [٨] إلى أن هناك أنواع من الصخور الجيرية تشبه الرخام فى مظـــهرها إلا أنها تختلف فى أصلها الصخرى لأن الرخام صخر متحول بينما أشباه الرخام هى صخور رسوبية .
- ذكر (**عطية** ) عام ٢٠٠٠م [٩] أن من خامات البوتسلانا الصناعية رماد الفحم والطـــوب الحـــرارى المطحون كما يمكن الحصول عليها من تكليس الحجر الجيرى المحتوى على نسبة من الطفلة .

---

(1) Swedan, A.H.: Anote On The Geology Of Greater Cairo Area, Annals Of The Geological Survey Of Egypt, Vol. XVII,, 1991,P.239.

(2) Fitzner, B.: Prosity Properties And Weathering Behaviour Of Natural Stones Methodology And Examples, In : Stone Material In Monuments, Second Course, Create, 1993,P.45.

(٣) عبد الله كامل موسى : تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربى وحتى نهاية العصر المملوكى ، دراســـة معمارية زخرفية مقارنة بمآذن العالم الإسلامى ، دكتوراه، قسم الآثار الإسلامية ، كليـــة الآثـــار ، جامعـــة القـــاهرة ، ١٩٩٤م ، ص٥٤.

(٤) إبراهيم عبيدو ، الجيولوجيا الهندسية ، منشأة المعارف، الإسكندرية ، ١٩٩٥م ، ص٧٨ .

(٥) محمد صبرى ، منهج تشكيل وصياغة المعادن ، الفرقة الرابعة ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٦م .

(٦) على عبد المنعم شمس ، حفر وتشكيل الخشب ، كلية الفنون التطبيقية ، ١٩٩٦م ، ص٣-٤ .

(٧) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : جيولوجية ومخاطر منطقة جبل المقطم ، القاهرة ، ١٩٩٧م ، ص١٤.

(٨)عبد العظيم رشوان : جيولوجيا ومواصفات أحجار البناء وأحجار الزينة ، ندوة تكنولوجيا استخدام الأحجـــار الطبيعيـــة ( الرخام والجرانيت ) ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، يناير ، ١٩٩٩م ، ص٥.

(٩) أحمد إبراهيم عطية : دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها فى أعمال الترميم المعمارى للمبانى الأثرية فى مصـــر ، رسالة دكتوراه ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م ، ص٣٣ .

- تناول (Weber) عام ٢٠٠٠ م[١] المسامية للأحجار الجيرية وذكر أنها من الخــواص الهامــة فــي حدوث التلف للأحجار وأن النظام الشعرى للأحجار هو المسئول عن حركة وامتصاص المــاء داخــل الأحجار .

## ٣) الدراسات التى تناولت عوامل ومظاهر تلف الآثار الحجرية

- ذكر (Feilden) عام ١٩٨٢م [٢] أن التحدد الحرارى Thermal Expansion لمواد البنــاء يســبب حدوث ضغوط ينتج عنها تغير في الأبعاد أو تشوه شكلى أو ربما تحدث شروخ .
- أشار (Torraca) عام ١٩٨٢م [٣] إلى أن معامل التمدد الحرارى لبلورات الكالسيت يختلــف طبقــاً لاتجاه البلورة حيث نجد أن معامل التمدد الحرارى لبلورة الكاسيت يبلغ ٢٥×١٠^-٦ مم فى اتجاه محور "C" ويساوى -٥ × ١٠^-٦ مم فى الاتجاه العمودى على اتجاه محور "C" .
- تناول (الشافعى) عام ١٩٨٤ م[٤] تشكل التربة وذكر أن انتفاخ التربة يمثل تطبيقاً هاماً لتشكل التربــة حيث يسبب ذلك تدمير الأرضيات واساسات المنشآت الخفيفة وأن الانتفاخ يكون غالباً بســـبب تــأثير المياه كما تناول الهبوط غير المنتظم حيث يؤدى إلى وجود ميلاً ظاهراً نتيجة دوران الأساس .
- ذكر (Lewin) عام ١٩٨٤م [٥] أن المحاليل الملحية التى تحتوى على أملاح ذائبة مثل الكلوريــدات Chlorides والنترات Nitrates تكون على درجة عالية من الخطورة عند تبلورها .
- ذكر (Oliver) عام ١٩٨٨م [٦] أنه ينتج عن البلورات التى تنمو من خلال الأملاح القابلة للذوبـــان ضغوط وإجهادات تتفاوت فى شدتها وذلك داخل القنوات الشعرية الموجودة داخل الأحجار والتى ربمــا تؤدى إلى حدوث تلف سريع وكامل للأحجار .
- تناول (ووكر) عام ١٩٨٩م [٧] القوى الناشئة عن الزلازل وذكر أن الموجات الأوليـــة ينتــج عنــها ذبذبات سرعتها ٤ميل/ ثانية أما الموجات الثانوية فينتج عنها ذبذبات ســرعتها ٢ميــل/ ثانيــة بينمــا الموجات السطحية فينتج عنها ذبذبات سرعتها ١,٧ ميل / ثانية .
- أشار ( ولكنسون) عام ١٩٨٩ م[٨] أن البكتريا قد تعيش مترممة أو متطفلة على النبـــات والإنســان ومعظمها يعيش عيشه تكافلية حيث تتعاون مع غيرها من الكائنات للحصول على غذائها .

---

(1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Guidiness To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert, Germany, Second Ed, 2000,P.17.

(2) Feilden , B. M.: Conservation Of Historic Buildings, Butterworth Scientific London , 1982 , PP.98-99

(3) Torraca, G.: Porous Building Materials, Materials Science For Architecture Conservation, ICCROM, 1982,P.2.

(٤) اسامة مصطفى الشافعى : ميكانيكا التربة ، اساسيات وخواص التربة ، الجزء الأول ، دار الراتب الجامعية ، بـــيروت ، ١٩٨٤م ، ص١٨.

(5) Lewin, S.Z. : The Mechmism Of Masonary Decay Through Crystalization, London, 1984,P.212.

(6) Oliver, A.: Dampnas In Buildings, B.S.P. Professional Books, London, 1998,P.149.

(٧) برايس ووكر ، الزلازل ، ترجمة د. محمد فهيم سلطان ، سلسلة مطبوعات المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقيــة ، رقم (٨) ، ١٩٨٩م ، ص٥-٦.

(٨) ج.ف. ولكنسون : مقدمة فى علم الميكروبيولوجيا ، ترجمة : نبيل إبراهيم ، المريـــخ للنشــر ، الريــاض ، ١٩٨٩م ، ص٣٢ .

- ذكر (Honeyborn) عام ١٩٩٠م [1] أن من أمثلة التلف الذى يحدث بفعل استخدام مونة الجبس هو فقدانه لماء تبلوره وتحوله إلى معدن الانهيدرايت حيث ينكمش ويأخذ حجماً أقل من حجم الجبس فتحدث هشاشيه وتفكك لمواد البناء .
- تناول (صبرى) عام ١٩٩٠م [2] أن المآذن الأثرية يتم تأسيسها على تربة لها خواص فيزيائية وكيميائية محدودة ولذلك تعتبر التربة عاملاً مؤثراً على المآذن الأثرية ، كما أن الإجهادات الناشئة من المآذن على التربة تتحكم فى إنفعال التربة وتصرفها .
- ذكرت (منظمة العواصم والمدن الإسلامية ) عام ١٩٩٠م [3] أن التعديات و الأشغالات للمبانى الأثرية والمتمثلة فى الأنشطة التجارية والحرفية والصناعية تسبب حدوث التلف للمبانى الأثرية ومآذنها حيث قد يشمل التعدى أيضاً عمليات هدم وإضافات جديدة .
- أشار ( الركايبى) عام ١٩٩١م [4] إلى أن السيول التى حدثت فى منطقة الصف جنوبى حلوان عام ١٩٨٧ أدت إلى جرف عدد من المنازل والمزارع بمركز الصف إلى الشرق من النيل .
- تناول ( مركز البحوث المائية) عام ١٩٩١م [5] الخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى وذكر أنه يتبع فى إمتداداته النوع شبة المحصور بالمناطق المتاخمة للنيل يتحول إلى خزان حر كلما اتجهنا شرقاً وغرباً بجوار الأطراف الشرقية والغربية .
- ذكر (Zilio) عام ١٩٩١م [6] أن ماء التكثف يلعب دوراً هاماً كمذيب للغازات الملوثة مثل $SO_2$, $NO_x$ وغيرها من الغازات الملوثة .
- أشار (الصادق) عام ١٩٩٢م [7] إلى أن نسبة تركيز غاز ثانى أكسيد النيتروجين إلى نسبة أول أكسيد النيتروجين تتزايد أثناء فترات النهار عنها بالليل نتيجة تأكسد غاز أول أكسيد النيتروجين عن طريق التفاعلات الفوتوكيميائية .
- تناول ( الشرقاوى) عام ١٩٩٢م [1] موقع مصر بالنسبة لاحزمة الزلازل وذكر أن أقرب حزام للزلازل لمصر هو محور الأخطار الزلزالية القصوى الذى يمر بجزيرة قبرص وشمال البحر الأبيض المتوسط ويبعد عن مصر حوالى ٧٠٠ كم إلى الجنوب من هذا المحور .

---

(1) Honeyborn, D. : Weathering And Decay Masonay In : Conservation Of Building And Decorative Stone, Vol.2,London, 1990,P.153.

(٢) ممدوح على صبرى ، إتزان الأثر والتربة ، ندوة الرؤية العلمية للحفاظ على الآثار ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٠م، ص١ .

(٣) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : أسس التصميم المعمارى والتخطيط الحضرى فى العصور الإسلامية المختلفة بالعاصمة القاهرة ، ١٩٩٠م ، ص٥٢٨-٥٢٩.

(٤) ماجد لطفى الركايبى ، أحواض الصرف الأساسية فى مصر ، تقرير عن السيول التى حدثت فى مصر خلال الفترة من ١٩٧٤م حتى عام ١٩٨٩م ، القاهرة ١٩٩١م ، ص٤ .

(٥) مركز البحوث المائية : التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى وزارة الرى، يناير ١٩٩١م

(6) Zilio, G.F. And Szpyrkowicz, L. : Air Pollution Monitoring Net Work For The Venice Region: Preliminary Results For The Rain Quality Toxicological And Encironmental Chemistry, 29,1991,Pp.281-289.

(٧) عمر محمد الصادق : الصناعة وتلوث البيئة فى مدينة القاهرة ، دراسة تطبيقية على منطقتى شبرا الخيمة وحلوان ، ندوة الجغرافيا ومشكلات تلوث البيئة ، إبريل ١٩٩٢م ، ص٨٩.

- أشار (Aboud) عام ١٩٩٣م [٢] إلى أن المآذن الأثرية تتميز بتكوين معمارى خاص وارتفاعات كبيرة تجعلها معرضة للتلف بفعل تأثير الحركة الناشئة عن الزلازل ويزداد خطر الانهيار فى حالة استخدام مواد بناء غير جيدة .
- ذكر (القصبى) عام ١٩٩٣م [٣] أن التربة Soil ترجع تسميتها إلى كلمة لاتينية قديمة هى Solum والتربة هندسياً تعنى فتات الصخور الناتج من عوامل التعرية والمواد العضوية وما تحتويه من محاليل ومعلقات عضوية معدنية وكذلك الهواء الموجود داخل التربة .
- أشار ( **الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى** ) عام ١٩٩٣م [٤] إلى أن هناك نوعين من الأحمال تؤثر على المنشآت هما الأحمال الراسية وتشمل الأحمال الدائمة ( الميتة) والأحمال الحية والنوع الثانى هو الأحمال الأفقية وتشمل أحمال الرياح والزلازل .
- تناول ( **واكد** ) عام ١٩٩٣م [٥] التربة الطينية اللينة وذكر أنها من ضمن أنواع التربة المسببة للمشاكل للمنشآت المشيدة عليها وأن حبيبات هذه التربة تتميز بخاصية الزحف .
- تناول ( **بلبل**) عام ١٩٩٣م [٦] بالدراسة مئذنة الغورى بالجامع الأزهر ذات الرأسين وذكر أنها كانت تعانى من ميل كبير عند رصدها فى عام ١٩٩٦م ، وكانت قيمة الميل ٢٧,٢٣سم وقد خضعت هذه المئذنة لعمليات الترميم لمعالجة الميل .
- ذكر (**أبو المجد**) عام ١٩٩٣م [٧] أن أهم عيوب تربة الردم عدم تجانس أجزائها واختلاف مكوناتها مما ينتج عنه عدم التنبؤ الصحيح بسلوك هذه التربة التى قد يكون شيد عليها مآذن أثرية .
- أشار (**الشافعى**) عام ١٩٩٣ م [٨] إلى أن استهلاك مياه الشرب بمدينة القاهرة يبلغ ٤ مليون متر مكعب يومياً ولا تستوعب شبكة الصرف الصحى إلا حوالى ٢ مليون متر مكعب ولذلك يتسرب حوالى ٢ مليون متر مكعب إلى التربة ويسبب ارتفاع منسوب المياه فيها .
- تناول ( **السعيد** ) عام ١٩٩٣م [١] النشاط الزلزالى فى مصر وذكر أن أكثر المناطق عرضه للزلازل هى الدلتا وساحل البحر الأبيض المتوسط ومدخل خليج السويس عند التقائه بالبحر الأحمر ومنطقة أسوان.

---

(١) محمد الشرقاوى : الزلازل وتوابعها ، أسبابها ، مخاطرها ، تاريخها ، التنبؤ بها ، مواجهتها ، مركز الأهرام للترجمة والنشر، ١٩٩٢م ، ص٥٨-٥٩ .

(2) Aboud, F.B.: Structural Consideration In The Restoration Of Islamic Monuments In Cairo, In The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May, 1993,P.3.

(٣) السيد عبد الفتاح القصبى : ميكانيكا التربة ، دارا لكتب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص١١.

(٤) الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى ، ١٩٩٣م .

(٥) خليل إبراهيم واكد : أسباب انهيارات ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص٦٦.

(٦ ) سعد زكى بلبل : الأعمال المساحية الخاصة برصد ثبات العناصر الإنشائية ، ندوة مشروع ترميم الأزهر الشريف ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، سبتمبر ، ١٩٩٣م .

(٧) شريف على أبو المجد : أساليب المعاينات وأسباب الانهيارات ، دار النشر للجامعات المصرية ، مكتبة الوفاء ، القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص٢٢٥ .

(٨) عزت عبد الشافعى : نحو صيانة بيئية متكاملة للآثار الإسلامية ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات الطراز المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، ١٩٩٣م ، ص٣ .

- ذكر (Oestrreish) عام ١٩٩٣م [٢] أن مصر كانت تتعرض للفيضان قبل بناء السد العالى بينما بعد بناء السد العالى فى أعالى النيل أصبح منسوب المياه ثابتاً فى النيل خلال العام وأرتفع منسوب المـــاء فيه عنه قبل بناء السد العالى .
- ذكر (دردير) عام ١٩٩٤م [٣] أن مصر تنقسم من حيث طبيعتها وعلاقتها بالسيول إلى عـــدة أقــاليم وتتبع مدينة القاهرة إقليم الصحراء الشرقية من حيث علاقتها بالسيول .
- أشار (Adel) عام ١٩٩٤م [٤] إلى مظاهر التلف التى تتعرض لها المآذن الأثرية ومن هذه المظــاهر حدوث شروخ فى الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق Gawsak ومن أمثلة ذلــك مئذنــة مدرســة صرغتمش وتعود للعصر المملوكى البحرى ( ١٣٥٦م ) .
- تناول (Croci) عام ١٩٩٤م [٥] تأثير الزلازل على المآذن الأثرية وذكر أن تلف أساســات المــآذن الأثرية بفعل الزلازل لا يظهر من الفحص الأولى نظراً لاختفائها فى التربة ولكن يستدل عليه من ميـل المآذن على المستوى الرأسى .
- ذكر (Mourad) عام ١٩٩٤م [٦] أن المآذن الأثرية تأثرت بشكل كبير بالزلزال الذى حــدث فــى الثانى عشر من أكتوبر عام ١٩٩٢م والذى قدرت شدته بــ ٥,٩ درجة على مقياس ريختر وتمثل ذلـك فى العديد من مظاهر التلف .
- تناول ( رضوان) عام ١٩٩٤ م [٧] مقاومة القص للتربة وذكر أن التربة تستمد مقاومتها للقص مـــن خاصيتين أولهما مقاومة الاحتكاك وتداخل الحبيبات مع بعضها البعض وثانيهما مقاومة التماسك .
- ذكرت (Christine) عام ١٩٩٦م [٨] أن البقع البيضاء التى تتكون على أســطح الآثــار الحجريــة والناتجة عن تزهر الأملاح تدل على ارتفاع محتوى الرطوبة داخل هذه الجدران الحجرية .

---

(١) محمد مأمون السعيد وأخرون : الهزات الأرضية ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، الملتقى العلمى للتخفيــف مــن أخطار الكوارث ( زلازل – حرائق – سيول ) ، القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص٤١ .

(2) Oestrreish, D.M.: The Ground Water Rise In The East Of Cairo And Its Impact On Historic Buildings, Rotterdam, 1993,Pp.317-319.

(٣) أحمد عاطف دردير : السيول فى مصر ، منشؤها ، طبيعتها ومخاطرها ، أكاديميــة البحــث العلمــى والتكنولوجيــا ، المؤتمر الدولى لإدارة الكوارث ( الحاضر والمستقبل ) ، أغسطس ، ١٩٩٤ م ، ص١٦٣ .

(4) Adel A. El- Gwad And Mourad, S.A. : On The Structural Stability And Repair Of Historical Monuments, Fac. Of Eng., Cairo Uni, 1996, P.4.

(5) Croci, G. : Damages And Restoration Of Monuments In Cairo, In: III International Symposium Of The Conservation Of Monuments In The Mediterranean Basin, Venice, 1994,P.426.

(6) Mourad, S.A. And Ashraf ,M.: Seismic Risk Appraisal For Islamic Minarets, Facu. Of. Eng., Stru. Eng. Depar., Cairo Uni, 1994,P.1.

(٧) عمرو رضوان : المبادئ العلمية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القـــاهرة ، ١٩٩٤م ، ص٧٨-٧٩ .

(8) Christine, B.: Assessment Of Quantitative Salt Analysis By The Water Extraction Method On Lime Mortars, In : 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, Germany, 1996,P.1505.

- أشارت (Leith) عام ١٩٩٦م [١] إلى أن كمية الغبار الملوث فى الهواء الجوى تعتمد علـــى عــدة عوامل منها سرعة الرياح والرطوبة وكمية الغبار السطحى وكثافة مصادر الغبار الطبيعية وذكـرت أن متوسط الغبار فى جو غير ملوث ٢٠ مكيروجرام فى المتر المكعب .
- تناول ( شابمان ) عام ١٩٩٨م [٢] الفطريات وذكر أنها كائنات حية دقيقة غير ذاتية التغذيـــة وهـــى أقرب فى صفاتها وشكلها العام إلى النبات عنه إلى الحيوان وهى تتبع المملكة النباتية ، تحت مجموعـة النباتات الثالوسية .
- ذكر ( عبد الهادى) عام ١٩٩٨م [٣] أن أملاح الكلوريدات خاصة ملح كلوريد الصوديوم أخطر أنواع الأملاح وأكثرها وجوداً ضمن الأملاح المتبلورة على أسطح المنشآت الأثرية فى مصر .
- تناول (عمران) عام ١٩٩٨م [٤] البكتريا وذكر أن البكتريا التى تستمد طاقتـــها مـــن أكســـدة المـــواد العضوية من أشهر أنواع البكتريا التى تسبب أضراراً خطيرة لمواد البناء المختلفة لأنها تفرز أحماضـاً تتفاعل مع مكونات الأحجار .
- تناول (Altieri) عام ٢٠٠٠م [٥] تأثير الفطريات الضار على الاسطح الأثرية الحجريـــة بمـــا تحدثه من تشويه لونى وخاصة اللون الأسود الذى يؤدى إلى طمس الزخارف والنقوش والألوان الأثرية التى قد تكون موجودة على الأسطح الحجرية .
- ذكر (Ausset) عام ٢٠٠٠م [٦] أنه عند تعرض الأحجار الجيرية للتلـــوث الجـــوى بغـــاز $SO_2$ تحدث علمية الكبرتة Sulphation حيث تتكون على أسطح الأحجار طبقات من معدن الجبس
- $CaSO_4 . 2H_2O$
- أشار (Binda) عام ٢٠٠٠م [٧] إلى أن وجود الرطوبة المرتفعة فى جدران المآذن الأثرية يدل على استمرار عوامل التلف المختلفة فى إتلاف المآذن ولذلك نجد أن من الضرورى قياس محتوى الرطوبـــة فى الجدران باستمرار والعمل على خفضه .

---

(1) Leith, S.D. et al: Limestone Characterization To Model Damage From Acidic Precipitation: Effect Of Pore Structure On Mass Transfer Environmental Science And Technology, London, 1996,P.30.

(٢) ر.ف. شابمان : الحشرات ، التركيب والوظيفة ، ترجمة د، محمد لطفى ، الدار العربيـــة للنشـــر والتوزيـــع ١٩٩٨م ، ص٣٢ .

(٣) محمد عبد الهادى وبدوى إسماعيل : تلف المبانى الأثرية بالقاهرة وطرق صيانتها وتأهيلها ، المؤتمر العربـــى لـــترميم وإعادة تأهيل المنشآت ، المجلد الثانى ، القاهرة ، سبتمبر ١٩٩٨م ، ص١٠١٩-١٠٢٠ .

(٤) هزار عمران : المبانى الأثرية ، ترميمها ، صيانتها ، الحفاظ عليها ، القاهرة ، ١٩٩٨م ، ص١٥٢ .

( 5) Altieri, A. Biological Patinas On The Limestones Of The Loches Romanic Tower, (Touraine, France) In : 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.433.

( 6) Ausset, P. And Demonte, M. : Early Mechanisms Of Development Of Sulphated Black Crests On Carbonate Stone, In : 9th Inter. Cong., Venice, 2000,P.330.

( 7) Binda, L. et al: Determination Of Moisture Content In Masonary Materials Calibration Of Some Direct Methods In : 9th Inter. Cong., Venice, 2000, P.423.

- تناولت (Elizabith) عام ٢٠٠٠م [١] عملية الترسيب الجاف للملوثات الغازية علـــى الأســطح الحجرية وخاصة فى الأماكن الغائرة حيث يكون الترسيب فى هذه الأماكن بطيئاً ومستمراً ويؤدى فـــى النهاية إلى تآكل أجزاء كبيرة منها .
- أشار (Ferone) عام ٢٠٠٠م [٢] إلى أن الكائنات الحية الدقيقة تستطيع التكاثر والنمو و مهاجمـــة الأحجار عندما تجد درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضوء المناسب لـــها بالإضافـــة إلـــى الغـــذاء المناسب عن طريق المواد العضوية الموجودة فى مواد البناء .
- تناول (Lindborg) عام ٢٠٠٠م [٣] الضغوط الناشئة بفعل التمدد الحرارى بيـــن كـــل بلورتيـــن متجاورتين من الكالسيت المكون للرخام مما يسبب وجود شروخ دقيقة فى التركيب البنــــائى للرخـــام تؤدى إلى ضعفه وربما فقدانه القدرة على تحمل الأحمال الميكانيكية المؤثرة عليه .
- ذكر (Moroni) عام ٢٠٠٠م [٤] أن غاز ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ الملوث للجو يتفاعل فى وجود غاز ثانى أكسيد النيتروجين $NO_2$ مع الأسطح الجيرية مكوناً ملح الجبس حيث يؤدى إلى تلف هـــذه الأسطح الحجرية .
- تناول (Pitzurra) عام ٢٠٠٠م [٥] الكائنات الحية الدقيقة وذكر أنها تســـتطيع الوصـــول إلـــى الجدران عن طريق الانتقال من الأجزاء السفلى والمداميك الملاصقة للتربة بواسطة الميـــاه الأرضيـــة التى ترتفع بالخاصية الشعرية داخل الجدران .
- أشار (Thomachot) عام ٢٠٠٠م [٦] إلى تكوين طبقة سوداء على أسطح الآثار الحجريـــة فـــى المدن الصناعية ذات مكونات مختلفة منها الجبس وأكاسيد الحديد والمواد الكربونية وقد يتراوح سـمكها من ٨ ميكرون إلى ١٢ ميكرون .
- ذكر (عاشور) عام ٢٠٠٠م [٧] أن المشاكل التى تسببها التربة الانتفاخية للمنشآت تتوقف لحـــد كبـــير على اختلاف الضغوط تحت المبنى من مكان لآخر وهذا الاختلاف فى الضغوط قـــد يحـــدث بســـبب التوزيع غير المتساوى لمحتوى الرطوبة للتربة الحاملة للاساسات .

---

(1) Elizabith, A.B.: Characterization Of Surface Morphology Of Carbanate Stone And Its Effect On Surface Uptake Of SO2 , In : Inter. Cong. Venice, 2000,P.303.

(2) Ferone, C. And Pansini, M.: Preliminary Study On The Set Up Of Mortars Displaying Biocidal Activity In : Inter. Congr. Vence., 2000, P.371 .

(3) Lindborg, U. And Dunakin, R.C.: Thermal Stress And Weathering Of Carrara Pontelic And Ekeberg Marble, In : 9th Inter. Congr., Venice, 2000,P.109.

(4) Moroni, B. And Poli, G. : Corrosion Of Limestione In Humid Air Containing Sulphur And Nitrogen Dioxides: Amodel Study, In : 9th Inter. Cong., Venice, 2000.P.370

(5) Pitzurra, L. et al: Microbial Environmental Mortaring Of Stone Culture Heritage In : 9th Inter, Congr. Venice, 2000,P.483.

(6) Thomachot, C. And Jeannette, D.: Petrophysical Properties Modification Of Strasbourg's Cathedral Sand Stone By Black Crusts In 9th : Inter. Cong. Venice, 2000,P.272.

(٧) مصطفى كمال عاشور : مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات ، مجلة المهندسين العدد رقم ٥٣٧ ، ديســمبر ٢٠٠٠م ، ص١٦.

- أشار (Weber) عام ٢٠٠٠ م [١] إلى أن من أهم مظاهر تلف المباني الحجرية بفعل تبلور الأمــلاح هــو تزهــر الأمــلاح Efflorescence علــى الســطح أو تــآكل الســـطح Surface Erosion حيث يتكون مظهر يشبه خلايا النحل Honey Combs .
- تناول (Zendri) عام ٢٠٠٠م [٢] ظاهرة التكثف وذكر أنها تحدث عندما تكون درجـــة الحـــرارة لأسطح المآذن أقل من نقطة الندى Dew Point للهواء المحيط بالمآذن حيث يتكثف بخار الماء .
- ذكر (شحاتة) عام ٢٠٠٢ م [٣] أن أكاسيد النيتروجين تنبعث إلى الجو أما من مصادر طبيعية أو بفعل النشاطات البشرية المختلفة .

## ٤) الدراسات التى تناولت طرق علاج وترميم وصيانة الآثار الحجرية

- ذكر (Clarke) عام ١٩٧٢ م [٤] أنه عند استخدام رذاذ الماء فى تنظيف الأسطح
- الحجرية يجب التحكم فى كمية الماء المستخدمة بحيث تكون أقل ما يمكن وخاصة فى حالة
- الأحجار ذات المسامية المرتفعة .
- تناول (Desai) عام ١٩٧٢ م [٥] طريقة العناصر المحددة Finite Element Method وذكر أن هذه الطريقة تستخدم لإجراء التحليل الانشائي للمباني الأثرية بعناصرها المختلفة وفيها نقــوم بتقسيم المنشأ إلى وحدات صغيرة ومتساوية .
- أشار (Ashurst) عام ١٩٨٢ م [٦] إلى الاعتبارات التى تتبع عند اختيار طريقة للتنظيف ومنها أن تحافظ على طبقة الباتينا Patina ولا تسبب تكون مركبات ثانوية تســبب التلــف فيمــا بعــد والتحكم فى سرعة التنظيف واستبعاد المواد غير المعروفة التركيب وإجراء اختبارات موضعية قبـــل التنظيف .
- ذكر ( **محمد رشاد الدين** ) عام ١٩٨٤م [٧] استخدام جهاز التيودوليت فى قياس ميول المآذن حيـــث تعتمد هذه الطريقة على انطباق المحور الرأسي للعدسة الشيئية بتلسكوب التيودوليت وحــرف واجهــة المئذنة وهذا يعنى عدم وجود ميل وإن لم ينطبق دل ذلك على وجود ميل بالمئذنة .
- أشارت ( **شاهندة** ) عام ١٩٨٧ م [١] إلى أن مئذنة ايدمر الجامع البهلوان يعود تاريخ انشائها إلى قبــل عام ٧٤٧ هــ / ١٣٤٦ م بواسطة الأمير بيدمر البدري .

---

(1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone Germany, 2000,P.39.

(2) Zendri, E. et al: Charachterization And Physio- Chemical Action Of Condensed Water On Limestone Surfaces In :9th Intern Ational Congr. Venice, 2000,P.647.

(٣) حسن أحمد شحاته ، تلوث الهواء ، القاتل الصامت وكيفية مواجهته ، مكتبة الدار العربية للكتاب ، القــاهرة ، ٢٠٠٢م ، ص٨٩ .

(4)Clarke , B. L . : Some Recent Research on Cleaning External Masonary in Great Britain , In : The treatment of Stone , Bologna , 1972 , p. 12

(5) Desai , C .S. and Adel , J .F . : International of The Finite Element Method , A numerical Method for Engineering Analysis , Van Nostrand Ltd, U S A , 1972 , p. 3-4

(6) Ashurst , J. : Cleaning and Surface Repair , In : Conservation of Historic Stone Buildings and monuments , National Press , Washington D.C , 1982 , p. 278

(٧) محمد رشاد الدين مصطفى : المساحة الطبوغرافية والجيوديسية ، دار الراتب الجامعية ، ١٩٨٤ ، ص ٣٧

- ذكر (Oliver) عام ١٩٨٨ م [٢] أن هناك طرق مختلفة لمعالجة الرطوبة ومنها طريقة العزل الفيزيائي والعزل الكهروأسموزي والعزل باستخدام نظام السيفونات والعزل الكيميائي باستخدام مــواد مانعة أو طاردة للماء .
- تناول (**معاذ**) عام ١٩٩١ م عملية الفك وإعادة البناء للمآذن الأثرية وأنه يعتبر حل استثنائي نلجأ إليه في حالة الضرورة القصوى مثل ميول المآذن بمقدار كبير يهدد بسقوطها وانهيارها .
- أشار ( **القصبي** ) عام ١٩٩٣ م[٣] إلى أساليب معالجة التربة ذات المشاكل ومنها التربة القابلة للانهيار والتربة القابلة للانتفاش والتربة الطينية اللينة وتربة الردم .
- ذكر (Bertero) عام ١٩٩٣ م [٤] أن تدعيــم الاساســات بواســطة الخوازيــق الأبريــة Micropiles يقوم على أساس نقل أحمال المنشأ إلى طبقة الأرض القوية أسفل طبقات الردم .
- تناول (Fassina) عام ١٩٩٣ م [٥] أهمية عملية التنظيف وانها يجب أن تجرى بحرص حتـى نتجنب حدوث تلف للأثر وذكر أنه من الممكن استخدام أكثر من طريقة للتنظيف حسب حالة كل جـزء من الأثر .
- أشارت (Fatma) عام ١٩٩٣ م [٦] إلى أن التحليل بتفلور الأشعة السينية يعتمد علــى إثـارة الذرات المكونة للعناصر فتبعث أشعة خاصة أو مميزة لذرة العنصر حيث يميز كل عنصــر بطـول موجي خاص به يميزه عن غيره من العناصر .
- تناول (**لمعى**) عام ١٩٩٣ م [٧] الدراسة التاريخية الأثرية التى تجرى للآثار عند ترميمها وذكــر أن الهدف منها تحديد الظروف التاريخية التى بني فيها الأثر وتشمل تاريخ البناء واسم المنشئ والوظيفــة الأصلية للمبنى ومراحل تنفيذ مواد البناء الأصلية والعوامل المؤثرة على طرازه المعماري .
- ذكر (**عبد الشافي**) عام ١٩٩٣ م [١] أن رصد المياه الجوفية ومنسوبها يتم مــن خــلال شـبكة مـن البيزومترات التى توضع على أعماق مختلفة لرصد حركة المياه فى الطبقات الطينية السطحية من جهة وكذلك حركة المياه الجوفية فى الطبقات الرملية ذات العمق الأكبر .

---

(١) شاهنده فهمى كريم : جوامع ومساجد أمراء السلطان الناصر محمد بن قلاوون ، رسالة دكتوراة ، قسم الآثار الاســلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٧ ، ص ٢٦٧

(2) Oliver, A.: Dampness In buildings, B. S. P , Professional Books , Oxford , London , 1988, p. 152

(٣) السيد عبد الفتاح القصبي : ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للطبع والنشر والتوزيع ، ١٩٩٣ ، ص ٦٧٥

(4) Bertero, M. : Foundation Improvement by Jet Grouting of a Historical Building in Cervia , Italy, Experimental Investigation In : Arab Contractors Training Institute on Protection and Restoration of Islamic Monuments , May , 1993 , p. 381

(5) Fasina , V. General Criteria for the Cleaning of Stone : Theoretical Aspects Methodology of Application , In Stone Material in Monuments Diagnosis and Conservation , Second course , Crete, May , 1993

(6) Fatma, M. Helmi ,Methodologies and scientific Investgation Techniques for study Treatment and Conservation of Stone Monuments , In : Stone Material in Monuments , Diagnosis and conservation , Second Course ,Crete , 1993

(٧) صالح لمعى مصطفى : أسلوب إعداد مشروعات ترميم التراث المعماري الإسلامى ، معهد التدريب الفنــى والمــهني ، المقاولون العرب ، فبراير ، ١٩٩٣ م

- أشار (Sherif) عام ١٩٩٤ م [٢] إلى ضرورة عمل النماذج الرياضيـــة بالحاسـب الآلـي لدراسة الاتزان الانشائي للمآذن الأثرية تحت تأثير الأحمال المختلفة سواء الرأسية أو الأفقية وقام بعمل نموذجين لمئذنتين أثريتين قام بدراسة حالتهما هما مئذنة منجك اليوسفي كمثال لمآذن العصر المملوكـي ومئذنة المسجد الحسيني كمثال لطراز المآذن فى العصر العثمانى .
- تناول (Crocci) عام ١٩٩٤ م [٣] التدعيم الانشائي للمآذن الأثرية وأنه فى حالة وجود شـرخ فى بدن المئذنة يتم تحزيم وربط هذه الأجزاء بواسطة أحزمة معدنية Tie bars أو الكـابلات Cables المصنوعة من الصلب غير القابل للصدا والذي يتميز بالمرونة المناسبة .
- أشار ( رضوان ) عام ١٩٩٤ م [٤] إلى طرق معالجة التربة القابلة للانهيار ومنها إزالة هذه الطبقـات ثم ردمها مرة أخرى على هيئة طبقات وتدمك كل طبقة عند نسبة الرطوبة المثلى .
- ذكر (Fanfoni) عام ١٩٩٥ م [٥] طريقة العزل الأفقي للجدران عن مصادر الرطوبة وأنـها تتم عن طريق نشر الجدار نشرا أفقيا فى اجزاء متتابعة مع وضع شرائح من مواد عازلة مثل البولـى فينيل كلوريد (P.V.C)
- تناولت (Elizabeth) عام ١٩٩٦ م [٦] مادة MTMOS وارتباطها بالأسطح الحجرية عـن طريق رابطة السيليكون والأكسجين Si-O-Si حيث ترتبط ذرات الاكسجين من المادة مع المواد السيليكاتية الموجودة ضمن تركيب الأحجار .
- أشارت (Fatma) عام ١٩٩٨ م [٧] إلى امكانية استخدام الميكروسكوب الالكترونى الماسح ( SEM) Scanning Electronic Microscope فى تقييم مواد التقوية المسـتخدمه لمواد البناء من حيث توغلها وانتشارها وربطها بين الحبيبات المعالجة بها .
- ذكر (عاشور) عام ١٩٩٩ م [٨] أن تثبيت التربة القابلة للإنهيار يتم بواسطة مواد مثبتة تعمـل علـى تقوية الروابط بين حبيبات التربة أو ملء الفراغات بينها وهذه المواد غير متوفرة بشـكل كبـير فـى مصر.

---

(١) عزت عبد الشافي : نحو صيانة بيئية السيليكاتية، متكاملة للآثار الإسلامية ، ندوة طرق حماية وترميـم المنشـآت ذات الطراز المعماري الاسلامي ، معهد التدريب الفنى بالمقاولون العرب ، ١٩٩٣م، ص ٦

(2) Sherif , A. Mourad and Ashraf, M. : Sesmic Risk Appraisal For Islamic Minarets , Facu of Eng. Dep. , Cairo University , 1994 , p. 9

(3) Crocci , G. : Damages and Restoration of Monuments in Cairo , In : III Inter. Symposium of The Conservation of Monuments in The Mediterranean , Venice , 1994 , p. 427

(٤) عمرو رضوان : المبادئ العلمية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٤ ، ص ٧٣

(5) Fanfoni , G. : The Italian, Egyptian Restoration Centers Work in The Mevlevi Comlex In Cairo, In : The Restoration and Conservation of Islamic Monuments in Egypt , The American Uni. In Cairo Press , 1995 , p. 64

(6) Elizabeth , G : The Effect of MTMOS Solutions In : 8th International Congress , Berlin , Germany , 1996 , p. 1246- 1247

(7) Fatma , M Helmi : The Role of Recent Techniques and Materials in Restoration and Conservation of Monuments , Training Institute , Arab Contractor có .,1998 , p. 8

(٨) مصطفى كمال عاشور : حقن التربة بالأنابيب ، دار النشر للجامعات، مصر، الطبعة الأولى ، ١٩٩٩، ص ١٥

- تناول (Siano) عام ٢٠٠٠ م [١] التنظيف بالليزر وذكر أن شعاع الليزر يعمل على حـــرق وتفتيت التكلسات السطحية وطبقة السناج السوداء وتفجيرها بفعل الحرارة العالية الناتجة من امتصـــاص الشعاع المنبعث بعد الاحتراق الكامل للقشرة الصلبة .
- أشار (Seidel) عام ٢٠٠٠ م [٢] إلى ليزر الياج Yag Laser وأنه يعطـــي نبضـــات قصيرة Short Pulses بالقرب من الأشعة تحت الحمراء بطـــول موجـــي يبلـــغ ١,٠٦٤ ملليمتر (١,٠٦٤×١٠$^{-٦}$ متر) .
- ذكر (كمال) عام ٢٠٠٠ م [٣] أن التربة ذات الطبيعة الضعيفة قد يتغير سلوكها وخواصها بتغير محتوى الرطوبة ومن هذه الأنواع على سبيل المثال التربة القابلة للانهيار والتربة القابلة للانتفاش .
- تناول (Norman) عام ٢٠٠٠ م [٤] مركب سيليكات الايثيل وأن الحصول عليه يتم من خـــلال تفاعل حمض السيليسيك $Si(OH)_4$ مع الكحول الايثيلى حيث ينتج مركب سيليكات الايثيل $Si(OC_2H_5)_4$
- تناول (Vicine) عام ٢٠٠٠ م [٥] مركبات الأكريليك وذكر أشهر أنواعها المتاحـــة تجاريـــا وهى مركبات البارالويد Paraloid مثـــل البـــارالويد ب ٤٤ Paraloid B44 ، بارالويد ب ٧٢ Paraloid B72
- أشار ( Weber ) عام ٢٠٠٠ م [٦] إلى أن الأسطح المحبة للماء تستطيع البلـــل وامتصـــاص الماء حيث تكون زاوية التماس بين السائل ( الماء ) وسطح الحجر تساوى صفر ($0 = \theta$)
- ذكـــر (عبـــاس) عـــام ٢٠٠٠ م [٧] امكانيـــة تقويـــة الاساســـات باســـتخدام الخوازيـــق الابريـــة Micro Piles وذكر أن الخوازيق الأبرية ذات الضغط المنخفض يكون ضغط الحقن بها من ٢-٥ بار .

---

(1) Siano , S. et al : Integration of Laser with Conventional Techniques in Marble Restoration , In: 9th International Congress On Deterioration and Conservation of Stone , Venice , 2000 , p. 569

(2) Siedle , H. : Results of Laser Cleaning Encrusted Oolithic Limestone of Angel Sculptures From The cologne Cathedral , In : 9th International and Congress On deterioration Conservation of Stone, Venice , 2000 , p. 585

(٣) منير محمد كمال : أشكال العيوب بالمباني الأثرية وأسبابها ، دورة تحليل وتقويم المبـــانى القديمـــة والأثريـــة وطـــرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير، ٢٠٠٠م، ص٧ .

(4) Norman, R. W. : Development and Assessment of a Conversion Treatment for Calcareous Stone. In : 9th International Congress On Deterioration and Conservation of Stone , Venice , 2000 , p. 422

(5) Vicini , S. : Chemistry for Conservation Culture Heritage : Application of In Situ Polymerization for the Consolidation and Protection , In : 9th International Congress On Deterioration and Conservation of Stone , Venice , 2000 , p. 421

(6) Weber , H. and Zinsmeister , K. : Conservation of natural Stone , Expert Verlag , Germany, 2000 , p. 34

(٧) عبد المجيد عباس : حالات دراسية لترميم الآثار ، ندوة تحليل وتقويم المباني القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معـــهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠ م ، ص ٦

- تنـــاول ( **عاشـــور** ) عـــام ٢٠٠٠ م [1] معالجـــة التربـــة القابلـــة للانتفـــاش وذلـــك بـــــالاحلال Replacement سواء الكلى أو الجزئي للتربة حيث يتم استبدالها بتربة أخرى غير تمددية .
- أشار (Cooper) عام ٢٠٠١ م [2] إلى أن عملية إصدار شعاع الليزر فى شكل نبضات يمكـن التحكم فيه بسهوله حيث تتكون كل طلقة من النبضات من كمية محددة متكررة من الطاقة .
- أشار (**Tomanek**) عام ٢٠٠٢ م[3] إلى أن المقويات العضوية تستخدم لتقوية الأحجار فى صورة Polymers أى بوليمرات ناتجة من اتحاد جزيئين أو أكثر لنفس المركب أو لجزئيات مختلفـــة Co-Polymers أو فى صورة Monomers أى جزئيات أحادية ذات وزن جزيئى صغير .
- ذكر (**الشاذلى**) عام ٢٠٠٣ م [4] أن التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية يتم طبقاً لقانون براج $(n\ \gamma = 2d_{hkl} .\ Sin\theta)$ وبمعرفة شدة الإنعاكسات Intensity وزوايا الإنعكـاس $2\theta°$ من نمط حيود الأشعة السينية ، يمكن تحديد المسافات البينية بين المسطحات الذرية (d) وبالرجوع إلى كروت الأشعة السينية ASTM Cards يمكن التعرف على المركب أو المركبـــات المكونـــة للعينة .
- تناول (EL-Mofty) عام ٢٠٠٣ م[5] استخدام ماء الجير ( هيدروكسيد الكالسيوم ) فـــى تقويـــة الأحجار الجيرية حيث قام بدراسة عمليـــة تكويـــن بلـــورات مـــن معـــدن الكالســـيت (كربونـــات الكالسيوم$CaCO_3$) بين حبيبات الحجر الجيرى لتعويض المادة الرابطة المفقـــودة وبالتـــالى تقويـــة الأحجار الجيرية الضعيفة .

---

-(١) مصطفى كمال عاشور : مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات ، (١) مجلة المهندسين ، نقابة المهندسين ، العـدد ٥٣٧ ديسمبر ٢٠٠٠ م ، ص ١٨-١٩

( 2) Cooper , M. : Laser Cleaning , London , Second Ed , 2001 , p.32

( 3) Tomanek, A.: Silicons and Industry, Munich, Hanser, Second ed, 2002, P.130.

( ٤ ) عبد الفتاح أحمد الشاذلى : فيزياء الجوامد ، الجزء الأول ، الدار العربية للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولـــى ، ٢٠٠٣م ، ص٧٠.

( 5) El-Mofty, S.E.: Growth And Formation of New Crystals on Ancient Stone And Mortar Mixes, Journal of The Egyptian Society of Engineers, Vol.42,Issue No.1, 2003, pp.34-36

# الهدف من الرسالة

تهدف الرسالة إلى دراسة علاج وترميم المآذن الأثرية وصيانتها من التلف وتعد المآذن من أهم عناصر العمارة الإسلامية ، وقد ظفرت مصر بمجموعة كبيرة ونادرة من المآذن الأثرية التى تعرضت لتداعيات الزمن وعوامل التلف بمظاهرها المختلفة مما يؤثر على إتزانها والذى قد يؤدى إلى ميلها أو إنهيارها بشكل جزئى أو كلى.

ونظراً لتنوع طرز هذه المآذن الأثرية واختلاف مظاهر تلفها وتدهورها وبسبب عدم وجود دراسة متخصصة تتناول دراسة علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية لذلك فقد تم اختيارها موضوعاً للرسالة التى ستتناول دراسة نشأة المآذن الأثرية وتطورها المعمارى خلال العصور الإسلامية المختلفة والنظام الإنشائى لها والعناصر المعمارية المكونة لها وكذلك دراسة مواد بناءها من أحجار جيرية ورخام لصنع أعمدة الجوسق وطوب محروق (آجر) وأخشاب لعمل شرفات المآذن ومونات.

كما ستتضمن الرسالة دراسة مظاهر التلف للمآذن الأثرية والعوامل المؤدية لهذا التلف من عوامل فيزيوكيميائية وتشمل التغيرات فى درجات الحرارة والرطوبة النسبية والمياه الأرضية والأمطار والأملاح والرياح والتلوث الجوى إلى جانب تلف التربة والأساسات والتداعيات الإنشائية الناتجة عنها وكذلك الاجهادات التى تتعرض لها المآذن بفعل الأحمال الرأسية المؤثرة عليها من أحمال دائمة وحيه وأحمال أفقية متمثلة فى أحمال الرياح والزلازل إلى جانب التلف البيولوجى والبشرى .

كما ستتناول الرسالة دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية وتشمل القيام بالدراسات للوضع الراهن للمآذن الأثرية من تسجيل وتوثيق أثرى ومعمارى ورصد مساحى لتحديد مدى إتزانها وإجراء الفحوص والتحاليل اللازمة لمواد البناء المستخدمة ودراسات التربة والاساسات والتحليل الانشائى للمآذن باستخدام الحاسب الآلى عن طريق عمل نماذج رياضية ثم القيام بعمليات الترميم الانشائى والمعمارى والدقيق للمآذن الأثرية .

وستتضمن الرسالة التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث ، أثر رقم (٢٨٦) بمنطقة عين الصيرة وستختتم الرسالة بمناقشة النتائج المستخلصة وذكر التوصيات التى ينصح بتطبيقها لصيانة المآذن الأثرية من التلف .

# الفصل الأول
# دراسة أصل ونشأة المآذن الأثرية
# وتطورها المعمارى

أطلق علي المكان الذي بناه المسلمون في مساجدهم ليرفع المؤذن فيه الآذان العديد من الكلمات منها المئذنة والصومعة والمنارة ، وقد تعددت الآراء حول الأصل المعماري للمآذن الأثرية في مصر ، كما ظهرت طرز متعددة للمآذن الأثرية في مصر خلال العصور الإسلامية المختلفة وكذلك تميزت المآذن الأثرية بنظام إنشائي خاص من حيث موقع المئذنة بالنسبة للمنشأ الأثرى وكذلك العناصر المكونة لها والتي اشتملت علي بعض الاختلافات خلال العصور الإسلامية المختلفة وتنوعت كذلك أساليب زخرفة المآذن الأثرية .

## أولاً : الأسماء التي أطلقت علي المئذنة The Names Of The Minaret

أطلق علي المكان المخصص لرفع الآذان ثلاثة أسماء هي الصومعة والمنارة والمئذنة(١).

### أ ـ الصومعة

أطلقت كلمة صومعة علي المئذنة ولعل إطلاق هذا الاسم علي المئذنة يرجع إلى أن المآذن الأولى سواء في مصر أو الشام أو الأندلس كانت تتخذ شكلا مربعا يشبه أبراج الزهاد في سوريا والتي كانت تسمي بالصوامع(٢) وقد أشار المؤرخ المسعودي بأن الصوامع الموجودة باركان المعبد الروماني بدمشق والذي أقام الوليد بن عبد الملك مسجده (سنة ٧١٢م) به قد استعملت لرفع الآذان(٣) كما ذكر المقريزي أن الخليفة معاوية بن أبى سفيان مؤسس الدولة الأموية قد أمر والي مصر مسلمة بن مخلد ببناء صوامع للآذان في جامع عمرو بن العاص (عام ٥٣هـ)(٤) وكانت أربع صوامع عبارة عن أبراج صغيرة مربعة(٥) وقد قام جاستون فييت بدراسة كلمة صومعة ويعتقد أنها تطلق علي مئذنة ذات شكل مربع(٦) وكلمة صومعة مشتقة من الفعل صومع، وصومع البناء تعنى أقام البناء عاليا(٧) ولذلك، نستطيع القول أن المآذن الأولي التي شيدها المسلمون وأطلقوا عليها "صوامع" كانت أبراجا مربعة علي نمط أبراج الكنائس السورية وأن هذا الطراز السوري للمآذن انتقل من سوريا إلى مصر وبلاد المغرب والأندلس ثم أتيح له البقاء في غرب العالم الإسلامي ولا يزال هو الطراز السائد فيه(٨).

---

(1) Abd El-Aty , Y.Y. A. : Structural Analysis Of Historical Masonary Islamic Buildings Using Computer Numerical Modelling Techniques With An Application On Prince Sarghatmash School In Cairo , Master, Conservation Department , Faculty Of Archaeology, Cairo Uni., 1999 , P. 27

(٢) السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن اصلها وتطورها منذ الفتح العربي حتى الفتح العثماني ، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، ١٩٥٩م ، ص ٣

(٣) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : أسس التصميم المعماري والتخطيط الحضري في العصور الإسلامية المختلفة ، دراسة تحليلية علي مدينة القاهرة ، ١٩٩٠م ، ص ٤٤٨

(٤) صالح لمعي مصطفي : التراث المعماري الإسلامي في مصر، دار النهضة العربية، بيروت ، طبعة أولي ، ١٩٨٤م، ص٣٠

(٥) طه الولي : المساجد في الإسلام ، دار العلم للملايين ، بيروت ، طبعة أولي ، ١٩٨٨م ، ص ٢٥٢

(٦) السيد عبد العزيز سالم ، مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص ٣

(٧) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠ ، ص ٤٤٨

(٨) زكي محمد حسن : تطور المآذن ، مجلة الكتاب ، سبتمبر ، ١٩٤٦م ، ص ٧١٨

### ب – المنارة

أطلقت كلمة "منارة" أو "منار" علي المئذنة وكلمة منار مشتقة من فعل (أنار) بمعني أشعل وأضاء وبالتالي فإن كلمة منار (الجمع منائر) تعني المكان الذي ينبعث منه النور أو تشتعل فيه النار(١) كما تعني المنارة البرج العالي الذي توضع بأعلاه الإشارات الضوئية من اجل هداية السفن في البحر أو القوافل في البر(٢) وتطلق كلمة منارة علي المئذنة مهما كان شكلها أما الصومعة فتتفق والمنارة في نفس هذا المعني ولكنها مئذنة يغلب عليها الشكل المربع ولا تختلفان إلا في درجة الارتفاع وفي أن الصومعة يمكن أن تطلق علي مئذنة المسجد كما يمكن أن تطلق علي برج الكنيسة(٣).

**ويمكن تلخيص معانى كلمة منارة أو منار كالتالي :**

١- المنارة : موضع النور، أو المسرجة التى تستعمل للإضاءة .

٢- المنارة : العلامة أو الإشارة التى توضع بين مكانين لتعيين الحدود أو اتجاه الطريق.

٣- المنارة : المصباح الذى يستنير به رهبان النصارى ويضعونه فى المشكاة داخل الدير أو الكنيسة .

٤- المنارة : البرج العالى حيث توضع النيران عند الضرورة لتبليغ الأخبار المتعلقة بتحركات العدو لاتخاذ الحيطة منه .

٥- المنارة : البرج العالى الذى توضع بأعلاه الإشارات الضوئية من أجل هداية السفن فى البحر أو القوافل فى البر . وهو ما يسمى أيضاً "الفنار".

٦- وأخيراً المنارة بمعنى المئذنة فى المسجد حيث يصعد المؤذن ليرفع الأذان وهذا المعنى الأخير هو المقصود فى هذه الدراسة (٤).

### جـ - المئذنة Minaret

اشتق لفظ مئذنة من الغاية الوظيفية لها والتي تتمثل في إعلان المؤذن عن وقت الصلاة بأداء الآذان وتعني المكان الذي ينطلق منه صوت المؤذن ويري (Hassaid) أن اسم المئذنة أطلق علي برج المسجد عندما اخذ شكل الصومعة الأولى في التطور إلى الشكل المألوف للمئذنة(٥)

## ثانياً : نشأة المآذن الأثرية وبداية ظهورها في العمارة الإسلامية

## The Birth of the Archaeological Minarets and Their First Appearance in the Islamic Architecture

لم تكن المئذنة معروفة في أيام النبي ﷺ ففي بداية الإسلام كان يدعي للصلاة بدون آذان وقد كان بلال أول من أمره الرسول ﷺ للدعوة للصلاة من اعلي سطح مجاور للمسجد ، وأحيانا كان يؤذن من فوق سور المدينة (٦) وقد أورد

---

(١) زكي محمد حسن : تطور المآذن ، مجلة الكتاب ، سبتمبر ، ١٩٤٦م ، ص ٧١٨

(٢) طه الولي : مرجع سابق ، ١٩٨٨م ، ص ٢٤٧

(٣) ابن جبير الأندلسي (أبو الحسن محمد بن أحمد) : رحلة ابن جبير ، نشر وليام رايت ، ليدن ، ١٩٠٧م ، ص ٣٣٣

(٤ ) طه الولي : المساجد فى الإسلام ، دار العلم للملايين، بيروت، الطبعة الأولى ،١٩٨٨، ص٢٤٧-٢٤٨

(5) Hassaid, S. : The Sultan's Turrels, Cairo , 1939, P.16

(٦) كمال الدين سامح : العمارة الإسلامية في مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة ، ١٩٩١م ، ص ١٩٤

بعض المؤرخين أن بناء المآذن كان زمن سيدنا عثمان بن عفان حيث يذكر المؤرخ "يحي بن الحسين" [1] "ومن مآثر عثمان بن عفان بناء المنارات (المآذن) للآذان وكانت في زمانه مربعة الشكل" ، ويذكر المؤرخ "البلاذري" أن مئذنة جامع البصرة بالعراق هي اقدم المآذن في العمارة الإسلامية وأنشأها زياد بن أبيه والي العراق من قبل معاوية بن أبى سفيان[2] وقد بناها من الحجر وكان ذلك عام ٤٥هـ / ٦٦٥م[3] ، ويري "شافعي" عدم التشكيك في رواية "البلاذري" عن بناء زياد بن أبيه لمئذنة جامع البصرة وخاصة أن تاريخ البناء يتفق مع أمر معاوية بن أبي سفيان لمسلمة بن مخلد ببناء الصوامع (المآذن) لجامع عمرو بن العاص بالفسطاط عام ٥٣هـ/ ٦٧٣م ، وبذلك يكون الفرق بينهما تاريخيا لا يزيد علي ثمانية أعوام[4] ويذكر "شافعي" أيضا تأكيد المؤرخ "ابن دقماق" وكذلك "المقريزي" نقلا عن غيرهم من المؤرخين بناء أربع مآذن في الأركان الأربعة لجامع عمرو بن العاص بالفسطاط لغرض الآذان وذلك عام ٥٣هـ/ ٦٧٣م وذلك أيام مسلمة بن مخلد الذي تولي حكم مصر فترة طويلة ما بين عام (٤٧هـ- ٦٣هـ / ٦٦٧م - ٦٨١م) [5]، ويري "عبد الجواد"[6] أن المآذن ظهرت لأول مرة في العمارة الإسلامية في دمشق بسوريا حيث أذن للصلاة من أبراج المعبد القديم الذي أقيم علي أنقاضه فيما بعد المسجد الأموي الذي شيده الوليد بن عبد الملك عام (٩٦هـ/ ٧١٥م) ويذكر "ابن الفقيه" في كتابه الذي ألفه عام (٢٩١هـ / ٩٠٣م) أن المآذن الموجودة بجامع دمشق كانت في الأصل أبراجا للمراقبة أيام الروم وأن الوليد بن عبد الملك تركها علي حالتها عندما شيد منطقة المعبد كلها جامعا ويري "شافعي" أن هذه الصوامع (الأبراج) تركت علي حالتها لأنها كانت تصلح أن تكون قواعد بنيت فوقها منارات أو مآذن عالية وروعي أن تكون في الجزء الأعلى منها شرفة تتيح للمؤذن أن يتحرك فيها وينادي منها للصلاة وأغلب الظن أن تكون هذه المآذن قد تهدمت بفعل الزلازل التي تسبب هدم المآذن بأكملها أو بعض أطرافها العليا ويدعم هذا الرأي أن المئذنتين الحاليتين في جامع دمشق واللتين ترتفعان فوق الصومعتين (البرجين) القديمتين في الجهتين الجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية قد شيدتا في العصور الوسطي ثم أعيد بناء الأطراف العليا لهما في عصور تالية بعد سقوطهما بفعل الزلازل[7] وقد تأثر بهذه المآذن تصميم المآذن في شمال أفريقيا والأندلس فكانت علي شكل أبراج مربعة كما في مسجد القيروان (الفترة ما بين ١٠٥هـ إلى ١٠٩ هـ) ، شكل رقم (١) وتنوعت أشكالها في مختلف بقاع العالم الإسلامي فبينما ظهرت المئذنة الملوية في سامراء بالعراق شكل رقم (٢) ظهرت المآذن كالفنارات في إيران والهند واتخذت أشكالا مختلفة في مصر وتركيا وغيرها[8]. ومن الآراء الأخرى لأقدم مئذنة باقية ذكر أن اقدم مئذنة باقية هي مئذنة جامع القيروان التي يرجع تاريخها إلى الفترة ما بين (عام ١٠٥هـ ١٠٩هـ / ٧٢٤م - ٧٢٨م) علي أساس الأدلة

---

(١) مصطفي شيحه : الآثار الإسلامية في مصر من الفتح العربي حتى نهاية العصر الأيوبي ، مكتبة النهضة المصرية ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٢م ، ص٣٨ نقلا عن : يحي بن الحسين : غاية الأماني في أخبار القطر اليماني ، تحقيق د/سعيد عاشور ،الجزء الأول ، ص ٨٩

(٢) مصطفي شيحه : مرجع سابق ، ١٩٩٢، ص٣٨ -٣٩

(٣) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠ ، ص ٤٤٨

(٤) فريد شافعي : العمارة العربية في مصر الإسلامية ، المجلد الأول ، عصر الولاة ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٤م، ص ٦٢٨- ٦٣٩

(٥) فريد شافعي : المرجع السابق ، ص ٦٣٧ نقلا عن : ابن دقماق ، الجزء الرابع ، ص٦٢ - ص٦٣ ، المقريزي ، الجزء الثاني ، ص ٢٤٨

(٦) توفيق أحمد عبد الجواد : العمارة الإسلامية ، فكر وحضارة ، مكتبة الأنجلو المصرية ، ١٩٨٧م ، ص١٠٢

(٧) فريد شافعي : مرجع سابق ، ١٩٩٤ م، ص ٦٣٧ -٦٣٨

(٨) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١م ، ص ١٩٤

التاريخية أو إلى عام (٢٢١ هـ/ ٨٣٦م) علي أساس الأدلة المعمارية[١] وهي في الحالة الأولى تعتبر اقدم مثل باق للمآذن (حسب هذا الرأي) وفي الحالة الثانية تعد ثاني الأمثلة الباقية إذ تسبقها مئذنة (منارة) قصر الحير الشرقي في منطقة الشام التي تؤرخ بحوالي عام ١١٠ هـ/٧٣٠م[٢]. ويوضح جدول رقم (١) الآراء المختلفة التي تناولت اقـدم مئذنة باقية في العمارة الإسلامية مرتبة طبقا لتسلسلها التاريخي .

جدول رقم (١) يوضح الآراء المختلفة لأقدم مئذنة باقية فى العمارة الإسلامية مرتبة تاريخيا

| م | التاريخ | المكان | المنشئ |
|---|---|---|---|
| ١ | ٤٥هـ / ٦٦٥م | مئذنة جامع البصرة بالعراق | زياد بن أبيه والي العراق |
| ٢ | ٥٣هـ / ٦٧٣ م | المآذن الأربعة بجامع عمرو بن العاص بالفسطاط بمصر | مسلمة بن مخلد |
| ٣ | ٩٦هـ / ٧١٥ م | مئذنة الجامع الأموي بدمشق بسوريا | الوليد بن عبد الملك |
| ٤ | ١٠٥هـ - ١٠٩هـ / ٧٢٤م - ٧٢٨م | مئذنة جامع القيروان بتونس | بشر بن صفوان |
| ٥ | ١١٠هـ / ٧٣٠ م | مئذنة قصر الحير الشرقي في منطقة الشام | هشام بن عبد الملك |

(عمل الباحث)

## ثالثاً : الأغراض الوظيفية للمآذن الأثرية

## The Functions of the Archaeological Minarets

إلى جانب الغرض الرئيسي الذي استخدمت فيه المآذن الأثرية وهو رفع الآذان للإعلان عن قدوم وقت الصلاة فقـد استخدمت المآذن في أغراض أخرى منها:

- الإعلان عن حالات الوفاة التي تحدث في المدن الإسلامية للشخصيات الهامة.
- إنشاد الابتهالات الدينية من فوقها في بعض المناسبات الدينية خاصة في شهر رمضان المعظم.
- يقوم المؤذن بالدعاء من فوقها للسلطان والجنود خاصة قبل الحروب.
- كان يوضع فوق قمتها وحدات إضاءة لتكون نقطة إرشاد في المدينة أو في الطرق.
- كان يتم تزيينها بالفوانيس واللمبات للإضاءة خلال شهر رمضان والمناسبات الدينية المختلفة[٣].
- استخدامها في بعض الأحوال كنقاط مراقبة حربية تعطي إشارات الخطر للحصون الحربية فتغلق أبوابـها ، كما كان يحدث في مئذنه جامع الجيوشي بمصر الفاطمية ومثلها كثير في كل من قنا واسنا[٤].

---

(١) مصطفي عبد الله شيحه : مرجع سابق، ١٩٩٢ ، ص ٣٩

(٢) فريد شافعي : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٦٤٠

(3) Abd El-Aty , Y. Y. A. : Op. Cit. , 1999 , P.27

(٤) حسني نويصر : العمارة الإسلامية في مصر في عصر الايوبيين والمماليك ، مكتبة زهراء الشرق، ١٩٩٦م ، ص١٥٥

## رابعاً : الأصل المعماري للمآذن الأثرية في مصر

## The Architectural Origin of the Archaeological Minarets in Egypt

لقد حاولت بعض الدراسات الربط بين المئذنة المصرية ومنارة الإسكندرية حيث يوجد بعض الشبه بين التكوين المعماري لمنارة الإسكندرية شكل رقم (٣) ومآذن القرن الرابع عشر الميلادي[١] وقد أنشأت منارة الإسكندرية شرقي جزيرة فاروس ووضع أساسها بطلميوس الأول سنة ٢٩٧ ق.م وأتمها بطلميوس الثاني ٢٨٠ - ٢٩٧ ق. م وبناها المهندس سوستراتوس ، وكانت تتألف من ثلاثة أقسام يعلوها مصباح ويحيط بالقسم الأول سور عريض ارتفاعه نحو ١٢ ذراعا (٦,٩٦ م) وكان القسم الأول مربع القطاع والثاني ثماني والثالث أسطواني يعلوه المصباح ولقد سقط الجزء العلوي للمنارة سنة ١٨٠هـ / ٧٩٦ م اثر زلزال شديد حتى رممها أحمد بن طولون وجعل في أعلاها قبة خشبية تهدمت بفعل الرياح وبعد ذلك تدهورت حالة المنارة عبر السنين حتى تهدمت في عصر الناصر محمد بن قلاوون[٢] ، وقد ذكر "بتلر" بعد قراءته لوصف "عبد اللطيف البغدادي" لمنارة الإسكندرية التي كانت قائمة في عصره (عام ١٢٠٠م) أن نظام المنارة يتفق علي حد قوله مع نظام المئذنة إذ تتألف من أربع طوابق الأول مربع والثاني مثمن والثالث مستدير والرابع جوسق * مقبي[٣] وقد لاحظ "بتلر" وقتئذ أن وصف (عبد اللطيف البغدادي) للمناره يمكن أن ينطبق علي أي مئذنة مقسمة لأربع أجزاء ولا تختلف عنها إلا في الارتفاع الشاهق للمناره[٤] ولكن نظرية "بتلر" لم تزد علي أن تكون مجرد ملاحظة ولم تتبعها أية محاولة لتأييدها بإثبات مادي[٥] وقد عارض "كريزويل" نظرية اخذ المآذن المصرية من مناره الإسكندرية ورتب المآذن ترتيبا تاريخيا وخرج من ذلك بنتيجة هامة أن المآذن التي يتعاقب فيها الطابق المربع والمثمن فالمستدير هي اندر أنواع المآذن وأن مآذن هذا النوع قد تطورت بالتدريج ولا علاقة لها بمنار الإسكندرية وأول هذه المآذن هي مئذنة سلار وسنجر الجاولي (٧٠٣هـ/ ١٣٠٣م)[٦] شكل رقم (٤) ولوحة رقم (١) ، كما أن طول الزمن بين تاريخ إنشاء منارة الإسكندرية والمآذن المصرية والذي يبلغ حوالي ستة قرون يؤكد انه من غير الطبيعي أن يكون هناك تأثير لمنارة الإسكندرية علي التكوين المعماري للمآذن المصرية[٧] وبذلك يمكننا القول أن المآذن المصرية قد تطورت تطورا طبيعيا بالتدريج حيث لم يكن لها في البداية أسلوب محلي خاص وقد كان أول العهد بالمآذن في مصر عام (٥٣هـ / ٦٧٣م) في جامع عمرو بن العاص في الفسطاط حيث لم يكن لهذا الجامع في البداية مئذنة وكان استخدام الناقوس قائما عند صلاة الفجر حتى عام ٥٣هـ/٦٧٣م إلى أن أمر معاوية واليه علي مصر مسلمة بن مخلد أن يبني صوامع (مآذن) للآذان فبني مسلمة أربع صوامع في جامع عمرو بن العاص في أركانه الأربعة[٨] وظلت المآذن المصرية خاضعة للتأثيرات الفنية الوافدة زمنا طويلا حتى أتيح لها أن تتحرر من هذه التأثيرات التي وفدت من سوريا والمغرب حينا ومن العراق وفارس حينا آخر وتغلغلت في النظام المعماري للمآذن في مصر ومع ذلك فقد

---

(١) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠م ، ص ٤٤٨

(٢) جيلان عباس : آثار مصر القديمة فى كتابات الرحالة العرب والأجانب ، الدار المصرية اللبنانية ، ١٩٩٢م ، ص ١١٦

* الجوسق : منطقة مكونة من عدة أعمدة غالباً ثمانية تحمل الجزء العلوى من المئذنة المشكل على هيئة غطاء "قلة الشرب"

(3) Creswel (K.A.C) : The Evolution Of The Minaret, 1926 , P.8

(٤) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص٧

(5) Hassaid, S. : Op. Cit. , 1939 , P. 15

(6) Creswell (K.A.C) : Op. Cit. , 1926 , P.9

(٧) صالح لمعي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص٣٠

(8) Rivoria, G.T. : Moslem Architecture, Its Origins And Development , Oxford, 1923, P.92

اتخذت المآذن التي أقيمت في مصر منذ العصر الفاطمي طرازا اخذ يبرز شيئا فشيئا في الوقت الذي استمرت فيـــه التأثيرات الفنية الوافدة إلى أن أخذت المآذن أخيرا صورتها المصرية الصميمة[١].

## خامساً : النظام الإنشائي للمآذن الأثرية والعناصر المكونة لها

## The Structural System of the Archaeological Minarets and Their Elements

يشتمل النظام الإنشائي للمآذن الأثرية علي موقع المئذنة بالنسبة للمنشأ الأثرى وكذلك طبيعتها من حيـــث اتصالـــها اتصال مباشر بالمنشأ الأثرى ووجودها ضمن التكوين المعماري أو انفصالها عنه ووجودها مســتقلة عــن المنشــأ الأثرى إلى جانب العناصر المكونة للمآذن الأثرية وتطورها خلال العصور الإسلامية.

### أ ـ موقع المئذنة بالنسبة للمنشأ الأثرى

بنيت مآذن مسلمة بن مخلد الأنصاري في سنة(٥٣هـ /٦٧٣م) في الأركان الأربعة لجامع عمرو بن العاص وذلـك لمتانة الأساس في هذه المواضع ، وكانت توضع المئذنة ضمن وحدات المنشأ المكونة للواجهة الرئيسية التي يشرف خلالها المنشأ علي الشارع الرئيسي وفي بعض الأحيان استغل سمك الجدران الخارجية للمنشأ نتيجة محاوله التوفيق بين اتجاه الشارع واتجاه القبلة وتشكيله مساحة منتظمة من الداخل للمنشأ كأساس للمئذنة ويزيــد مــن متانــة هــذا الأساس أنه عادة ما يكون عند التقاء جدار الواجهة في أكبر سمك له مع الجدار العمودي عليه[٢] وبالنســبة لموقــع المئذنة من المنشأ خلال العصور الإسلامية المختلفة فنجد في العصر الطولوني أن المثل الوحيد الباقي هــو مئذنــة جامع أحمد بن طولون لوحة رقم (٢) وتقع بالزيادة الشمالية الغربية للجامع مستقلة وغير متصلة بمباني الجامع وفي العصر الفاطمي وجدت المئذنة فوق المدخل[٣] مؤكدة بذلك موقعه كما في مئذنة مســجد الجيوشــي (٤٧٨هـــ / ١٠٨٥م ) لوحة رقم ( ٣ ) ومئذنة جامع الأقمر (٥١٩هـ / ١١٢٥م) ونري في جامع الحاكم بـــأمر الله لوحتيــن رقمى ( ٤ ) و ( ٥ ) مئذنتين في ركني الجامع من جهة المدخل وذلك لتحقيق التماثل والتوازن للمبني[٤] وخاصـــة أنه بالجهة المقابلة للمئذنتين توجد قبتان بالإضافة للقبة الموجودة أمام المحراب[٥] .

وخلال العصر الأيوبي وضعت بعض المآذن فوق المدخل[٦] وتعتبر مئذنة مدرسة الصـــالح نجــم الديــن أيــوب (٦٤٠هـ – ٦٤١هـ / ١٢٤٢م – ١٢٤٣م) لوحة رقم (٦) نموذجا لمآذن هذا العصر والذي تقع فيه المئذنة فــوق مدخل المدرسة[٧] وقد تم ربط واجهتى مدرسة الصالح نجم الدين أيوب اليمنى واليسرى وجعل المدخل فى الوســط تعلوه المئذنة التى قامت بربط أجزاء المدرسة لإضفاء نوع من الإبهار والأثراء الزخرفي للواجهة وتوجيه الأنظـــار لأهمية المدرسة وقد أثرت بعد ذلك فى خانقاه بيبرس الجاشنكير (٧٠٦هـ-٧٠٩هـ/ ١٣٠٦م-١٣٠١٠م ) بشـــارع الجمالية ، أما خلال العصر المملوكي البحري والعصر المملوكي الجركسي فقد وضعت المئذنـــة علـــي الواجهـــة الرئيسية بجوار المدخل[٨] بينما في العصر العثماني فقد وجدت المئذنة في أغلب الأحوال في أركان المنشأ الأثرى[٩].

---

(١) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص ١١

(٢) عبد الله كامل موسي: تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربي وحتى نهاية العصر المملوكي ، دراسة معماريـــة زخرفية مقارنة مع مآذن العالم الإسلامي ، رسالة دكتوراه ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعـــة القـــاهرة ، ١٩٩٤م، ص ٥٣٩

(3) Abd El-Aty , Y. Y. A. : Op. Cit., 1999 , P.30

(٤) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠ ، ص ٤٤٨ – ص٤٤٩

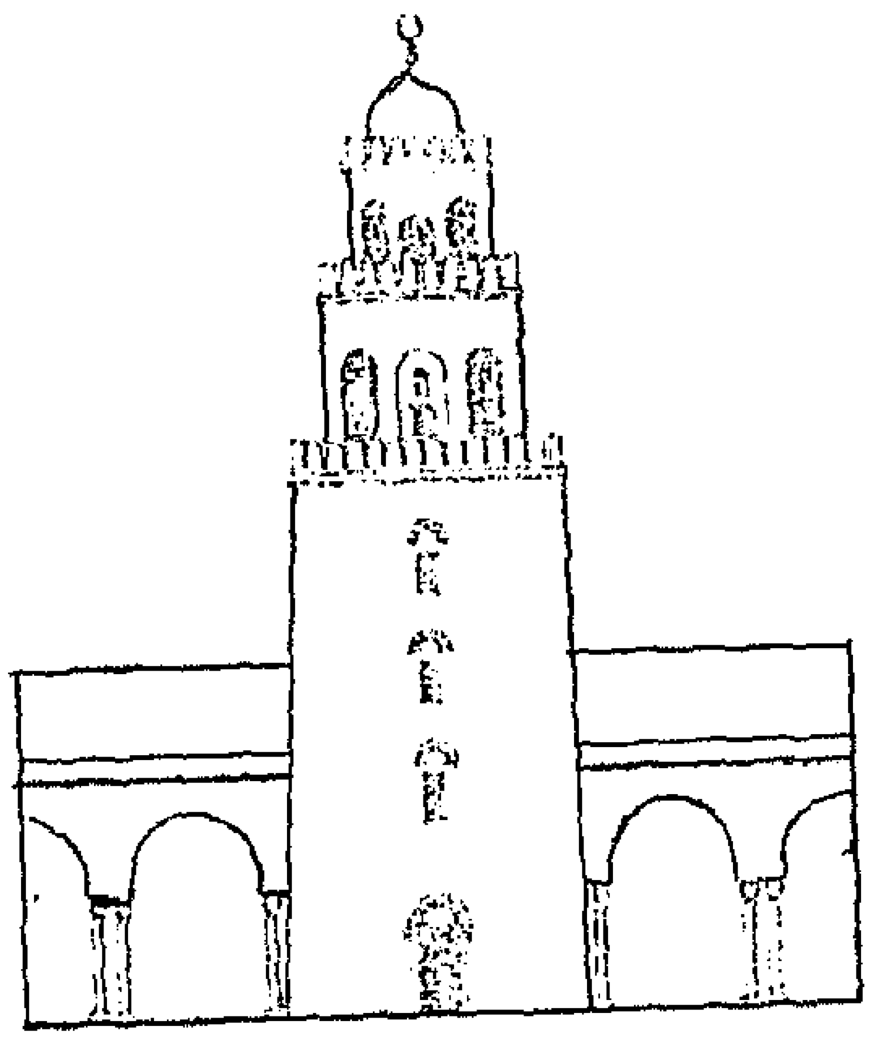
(٥) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

(٦) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

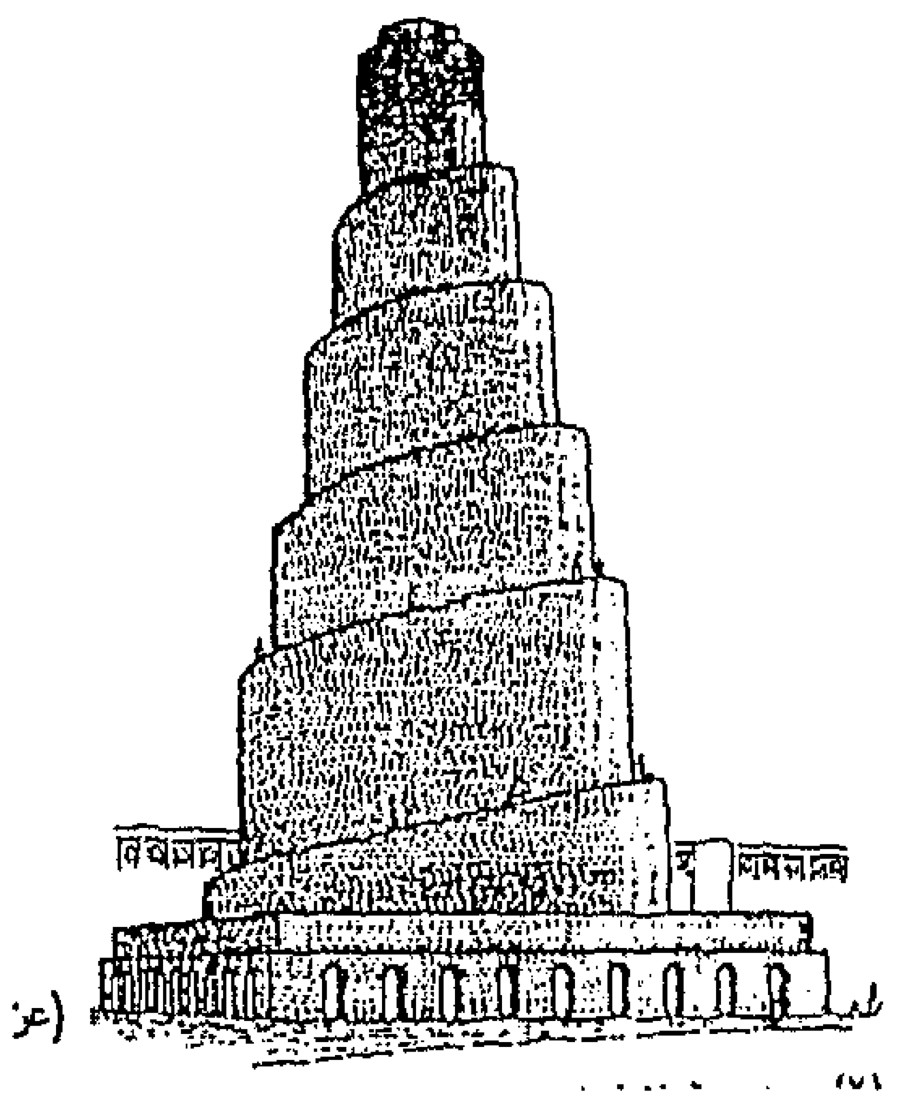
(٧) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٢ – ص ٣٣

(٨) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠م ، ص ٤٤٩

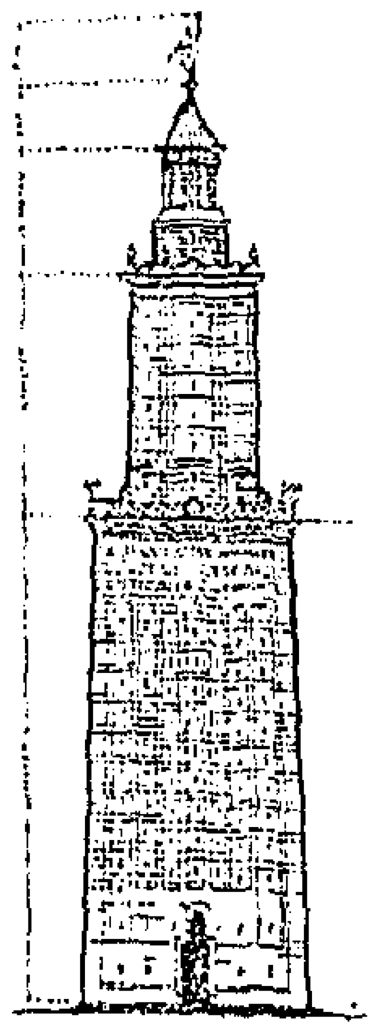
(٩) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص٣٣



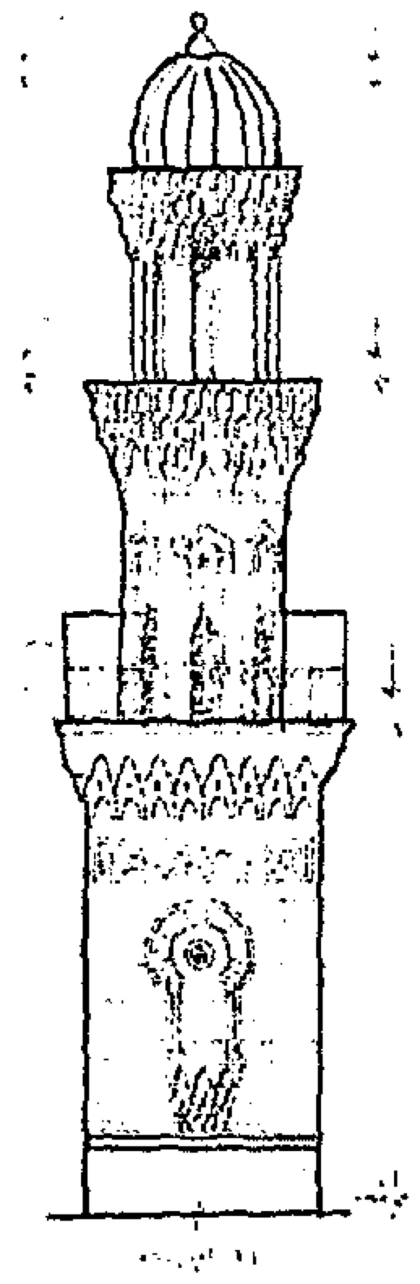
شكل رقم (١) يوضح مئذنة مسجد القيروان بتونس ( عن عبد السلام نظيف )



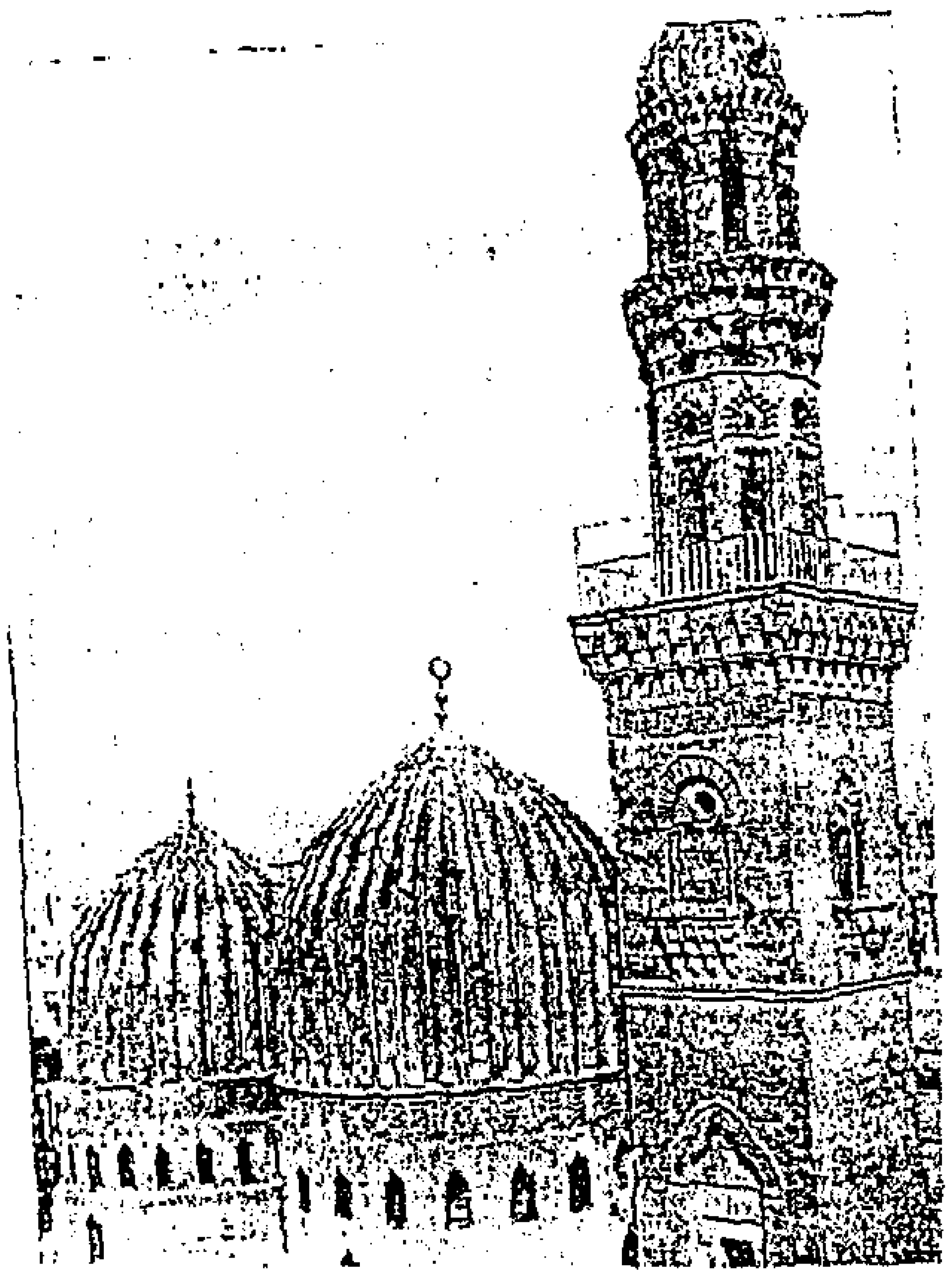
شكل رقم (٢) يوضح المئذنة الملوية بسامراء بالعراق ( عن يحيي وزيري )



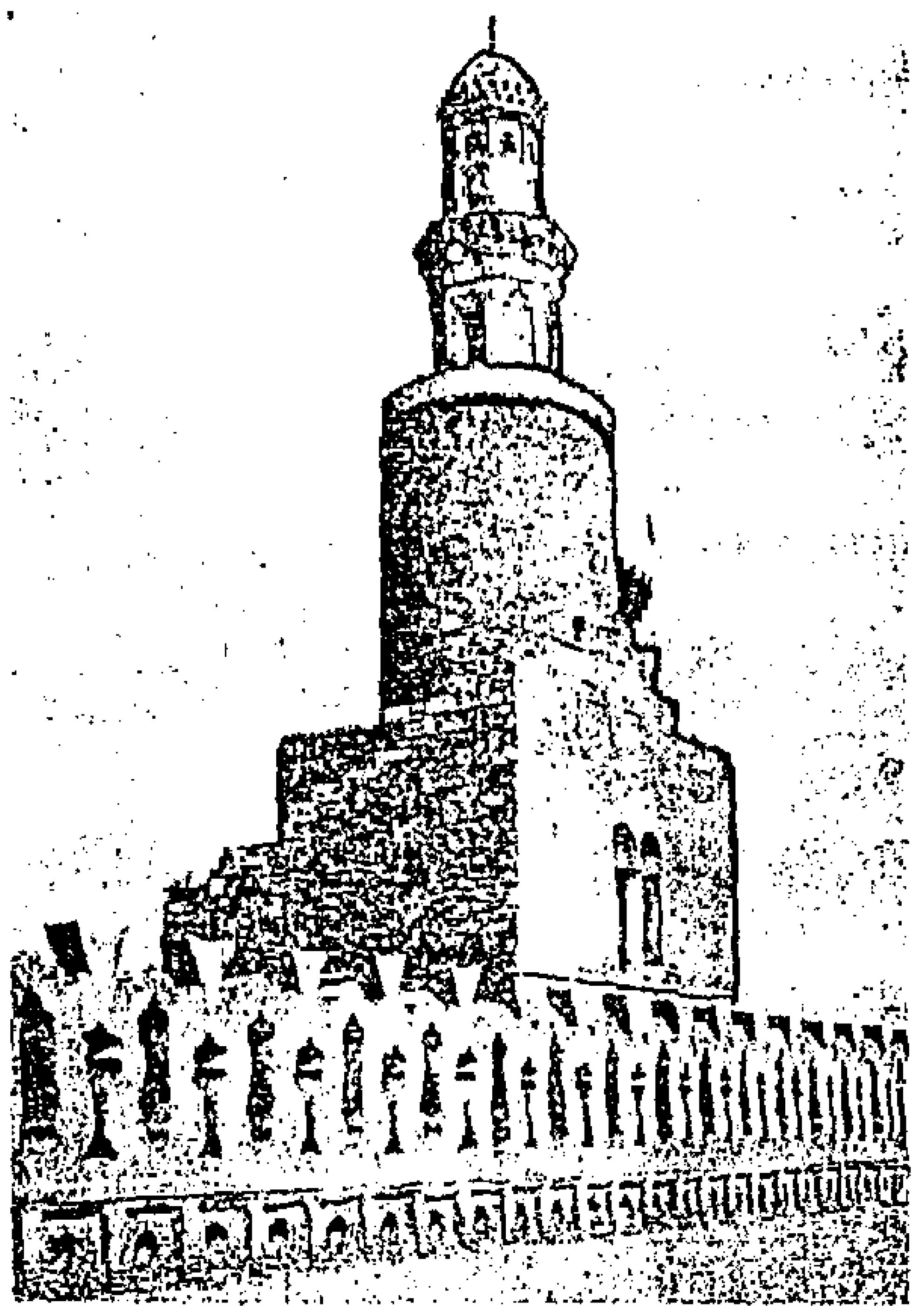
شكل رقم (٣) يوضح منارة الإسكندرية عن ( السيد عبد العزيز)



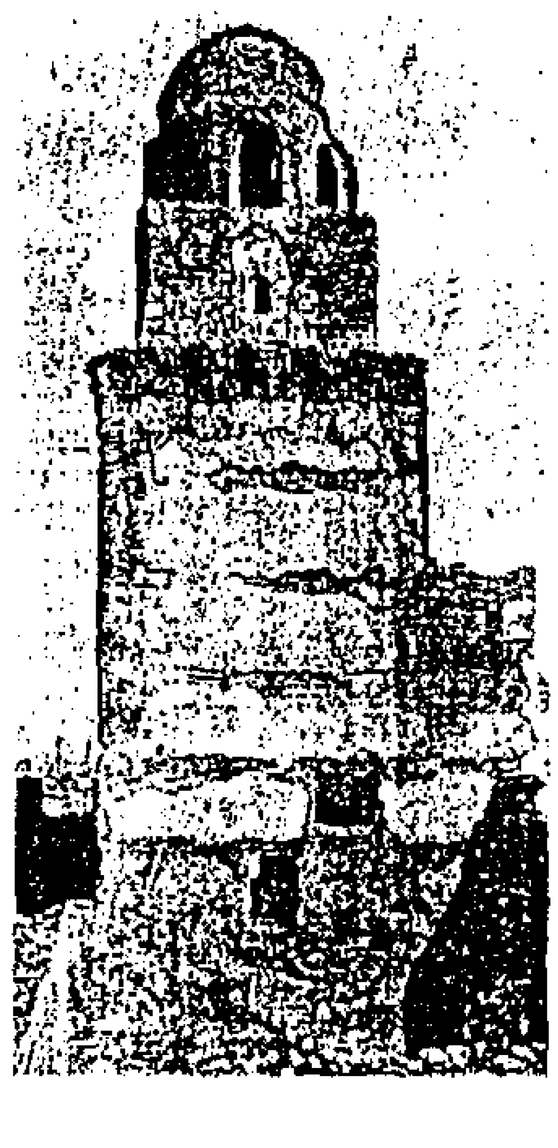
شكل رقم (٤) يوضح مئذنة سلار وسنجر المجاولى ( عن عبد السلام نظيف )



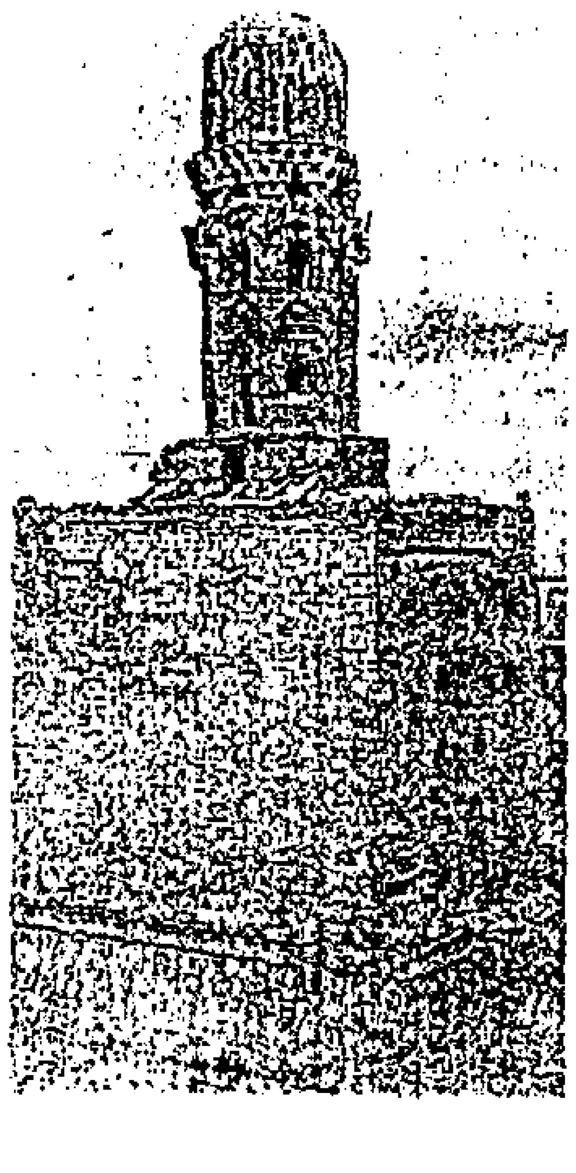
لوحة رقم (١) يوضح مئذنة سلار وسنجر المجاولى ( عن السيد عبد العزيز سالم )



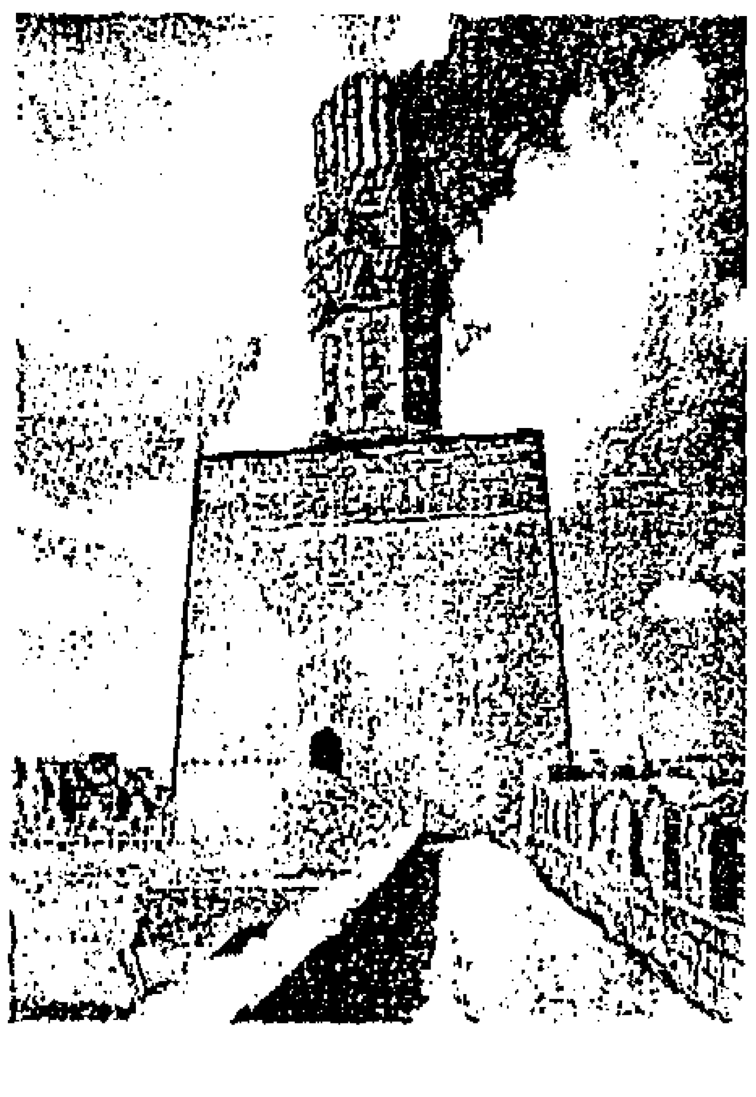
لوحة رقم (٢) توضح مئذنة جامع أحمد بن طولون ( عن السيد عبد العزيز سالم )



لوحة رقم (٣) توضح مئذنة جامع الجيوشى ( عن السيد عبد العزيز سالم )



لوحة رقم (٤) توضح المئذنة الجنوبية الغربية لجامع الحاكم بأمر الله ( عن السيد عبد العزيز سالم )



شكل رقم (٥) توضح المئذنة الشمالية الشرقية لجامع الحاكم بأمر الله ( عن السيد عبد العزيز سالم )

## ب - طبيعة المئذنة من حيث اتصالها بالمنشأ الأثرى أو انفصالها عنه

نجد من الناحية الإنشائية أن المئذنة عندما توجد ضمن مكونات المنشأ الأثرى فإنها تسلك سلوكا إنشائيا يتوقف علي سلوك المنشأ الأثرى ككل حيث تتأثر المئذنة بأي مشكلات يعاني منها المنشأ من حيث تعرضه لهبوط في التربة أو للكوارث الطبيعية مثل الزلازل وغيرها وبذلك نجد أن المئذنة عندما تتصل بالمنشأ الأثرى فهي تؤثر فيه وتتأثر بما يتعرض له المنشأ من تلف أما في حالة وجود المئذنة مستقلة Separate وغير متصلة بالمنشأ الأثرى فإنها تتصرف إنشائيا كوحدة مستقلة Unit وبذلك قد لا تتأثر المئذنة بما يتعرض له المنشأ الأثرى أو قد تختلف درجة تأثرها بعوامل التلف المؤثرة حيث قد لا يؤثر ميلها أو عدم اتزانها أو هبوطها وغير ذلك علي المنشأ الأثرى في حالة بعدها بقدر كاف عنه ومثال ذلك مئذنة جامع أحمد بن طولون وكذلك مئذنة يشبك من مهدي بمسجد الإمام الليثي وهو موضوع الدراسة التطبيقية للرسالة وغيرهما.

## جـ - العناصر المكونة للمآذن الأثرية
## Elements Forming Archaeological Minarets

تتكون المآذن من عدة عناصر تشتمل علي القواعد ومناطق الانتقال والفتحات والدخلات والقمم التي تتوج المآذن والشرفات ،ويوضح الشكل رقم (٥) العناصر المكونة للمآذن الأثرية و فيما يلي عرض لهذه العناصر.

### ١- قواعد المآذن The Bases

كانت عملية البناء تبدأ بحفر الأساسات وكانت تستغرق بعض الوقت للحصول علي أساس متين يستغله المعمار المسلم في عمل قاعدة المئذنة وما يعلوها من طوابق ، ونجد أن بعض قواعد المآذن تبدأ من الأرض مثل مئذنتا جامع الحاكم بأمر الله ومئذنة جامع الجيوشي ومئذنة جامع أحمد بن طولون وغيرها[١] ونجد أن هناك مآذن أقيمت قواعدها فوق ممر نافذ يسمح بمرور الناس أسفلها ومن أمثلة ذلك مئذنة المشهد الحسيني لوحة رقم (٧) ومئذنة المدرسة الصالحية[٢] لوحة رقم (٦) ومئذنة يشبك من مهدي بمسجد وضريح الإمام الليث وهناك مآذن تميزت باستطالة قواعدها بالتكوين المربع ومن أمثلتها مئذنة خانقاه سنجر وسلار لوحة رقم (١) ومئذنة مدرسة حسن صدقة لوحة رقم (٨) ومئذنة مسجد قوصون لوحة رقم (٩) ، وهناك مآذن تميزت قواعدها ذات التكوين المربع ومن أمثلتها مئذنة مدرسة السلطان حسن صورة رقم (١) ومئذنة مدرسة فيروز الساقي ومئذنة جامع ايدمر البهلوان ومئذنة مدرسة صرغتمش لوحة رقم (١٠) ، كما أن هناك مآذن تميزت قواعدها بتكوين معماري مثلث المسقط ومن أمثلتها مدرسة اسنبغا ومئذنة مدرسة قانبياي ومئذنة مسجد جاني بك بالمغربلين.

### ٢- مناطق الانتقال بالمآذن Transition Zones

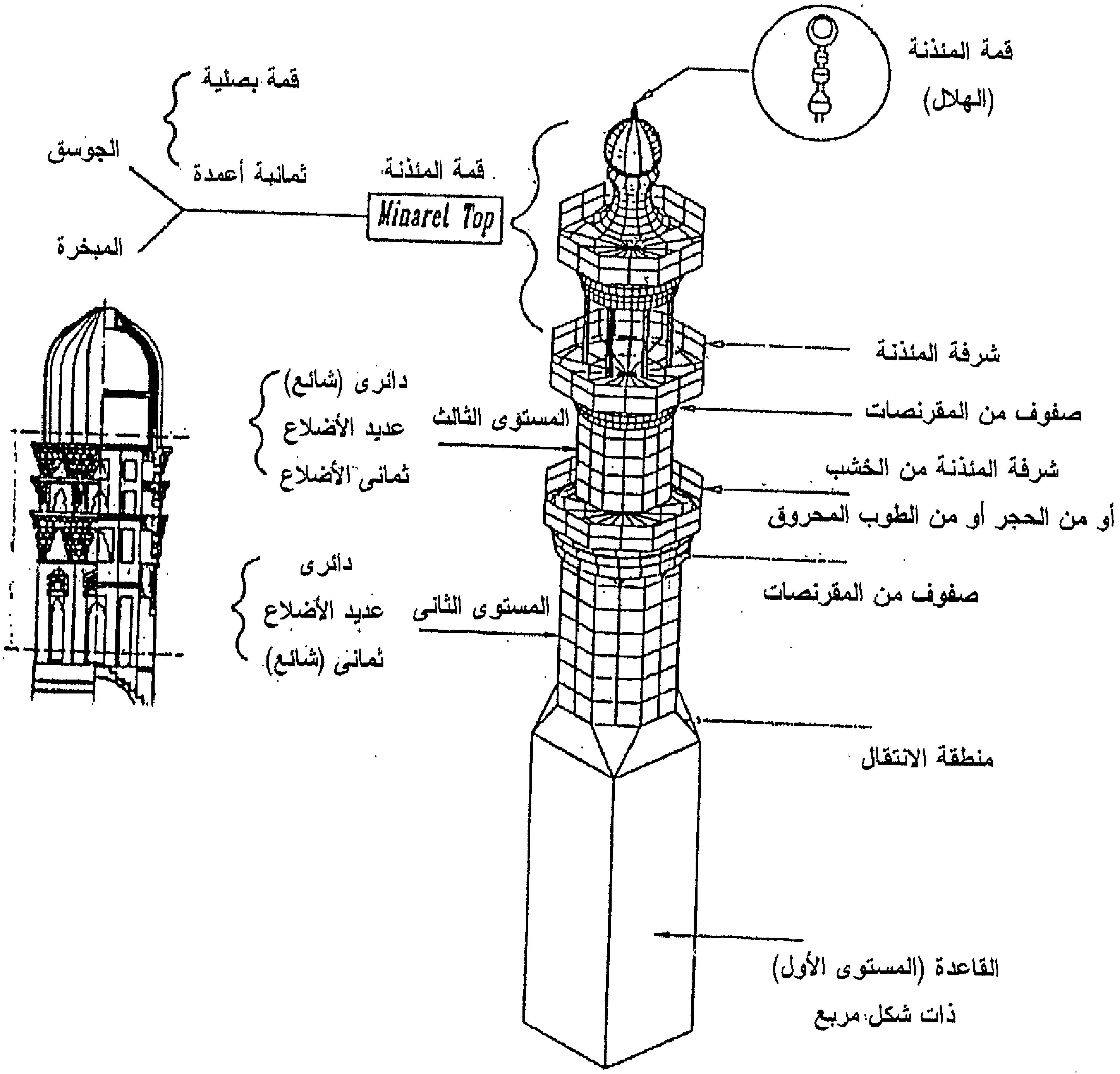
أوجد المعمار الإسلامي منطقة انتقال لتحويل قمة القاعدة المربعة إلى شكل ثماني الأضلاع يمكن بعدها بناء الطابق المثمن هذا فيما يتعلق بقواعد المآذن المربعة أما فيما يتعلق بالمآذن ذات المسقط المثلث فقد أوجد المعمار منطقة انتقال لتحويل قمة القاعدة إلى شكل سداسي الأضلاع يمكن بعده بناء الطابق المسدس وقد انتشر استخدام المثلثات المائلة المقلوبة لتحويل مربع القاعدة إلى طابق مثمن[٣]

---

(١) عبد الله كامل موسي : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٥٦٨ - ٥٧٩

(٢) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣

(٣) عبد الله كامل موسي : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٥٧٩




شكل رقم (٥) يوضح العناصر المعمارية المكونة للمآذن الأثرية

## ٣-الدخلات والفتحات في المآذن Niches and Holes

أوجد المعمار الإسلامي دخلات نافذة ومصمته وفتحات وذلك لتخفيف الأحمال الواقعة علي القاعدة والأساسات وتعد الدخلات بنوعيها والفتحات من مميزات مآذن القاهرة الأثرية وإلي جانب تخفيف الأحمال الواقعة من الطوابق المختلفة للمئذنة علي القاعدة والأساس فإن هناك وظيفة أخري وهي الإضاءة والتهوية نهارا[١].

## ٤- القمم التي تتوج مآذن القاهرة الأثرية The Tops

هناك ثلاثة أنواع مميزة من القمم التي توجت مآذن القاهرة خلال العصور الإسلامية المختلفة وهي :-

أ- قمة ظهرت خلال العصر الفاطمي وانتشر استخدامها خلال العصر الأيوبي وهي علي هيئة قبة نصف كروية ذات فصوص أطلق عليها المعمار المسلم اسم (المبخرة)[٢] وتحمل مئذنة جامع الجيوشي (٤٧٢هـ - ١٠٨٥م) وتعود للعصر الفاطمي قمة علي هيئة المبخرة وهي عبارة عن قبة نصف كروية تتوج الطابق الثاني المثمن للمئذنة لوحة رقم (٣) .

ب- قمة ظهرت خلال العصر المملوكي البحري واستمرت خلال العصر المملوكي الجركسي وهي عبارة عن الجوسق الذي يحمل بواسطة ثمانية أعمدة غالبا من الحجر أو الرخام وينتهي بقمة ذات شكل كمثري أو علي شكل غطاء قلة الشراب وعرفت بالقمة البصلية أو (طراز القلة) ونجدها في مئذنة جامع الناصر محمد بن قلاوون ومئذنة جامع الأمير شيخو الناصري لوحة رقم (١٠) وغيرها[٣].

جـ- قمة ظهرت خلال العصر العثماني وتميزت بها مآذن هذا العصر وهي علي هيئة مخروط مدبب بحيث تأخذ القمة شكل القلم الرصاص Pencil Point [٤] ومن أمثلة هذه القمم قمة مئذنة مسجد عثمان كتخدا (١٧٣٤م) ومئذنة مسجد الملكة صفية (١٦١٠م) لوحة رقم (١٢) ومئذنة جامع سليمان باشا (١٥٢٨م-١٥٢٩م) لوحة رقم (١٣) وغيرها.

وقد عرفت المآذن المزدوجة أو المتعددة الرؤوس في مصر منذ النصف الثاني من القرن الثامن الهجري/النصف الثاني من القرن الرابع عشر الميلادي ومن أمثلة هذا الطراز مئذنتي قايتباي الرماح بمسجده بالقلعة صورة رقم (٢) وكذلك بمسجده بالناصرية لوحة رقم (١٤) وكذلك مئذنة الغوري ذات الرأسين بالجامع الأزهر لوحة رقم (١٥) ومئذنته ذات الأربعة رؤوس بالغورية * صورة رقم (٣) وغيرها.

---

(١) عبد الله كامل موسى : المرجع السابق ، ١٩٩٤م ، ص ٨٥٤

(2) Creswell (K.A.C.) : The Evolution Of the Minaret, 1926 , P.8

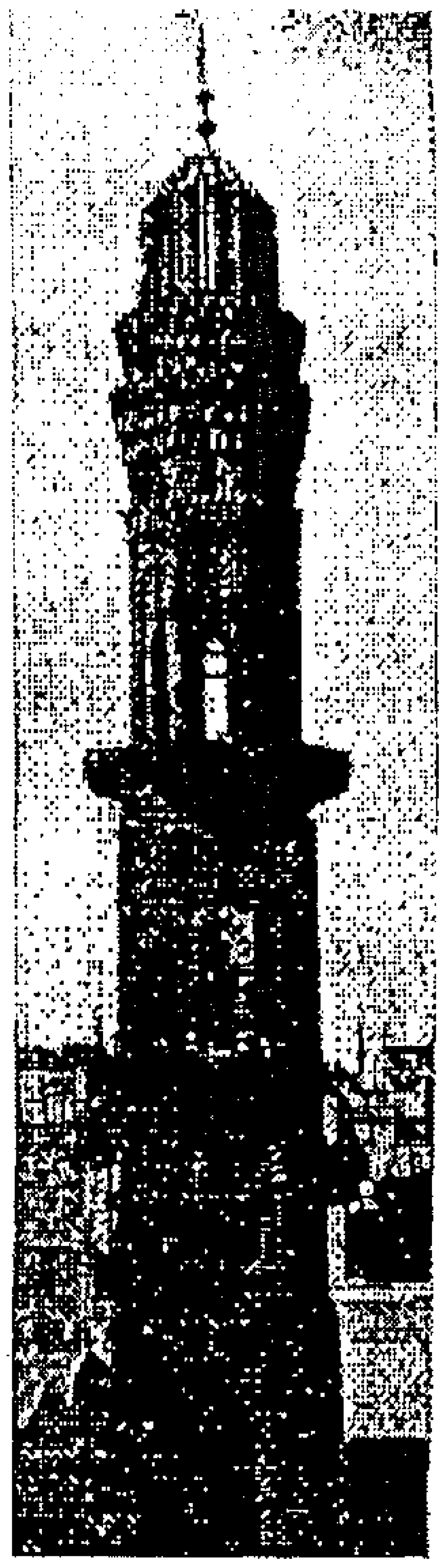
(٣) حسني نويصر : العمارة الإسلامية في مصر (عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص ٢٤٨

(4) Sameh, K. : Evolution Of Minarets In Egypt , 1974, P. 174

* تحتوى هذه المئذنة على خمسة رؤوس الآن بعد تجديدات لجنة حفظ الآثار العربية .

لوحة رقم ( ٦)

لوحة رقم ( ٧)

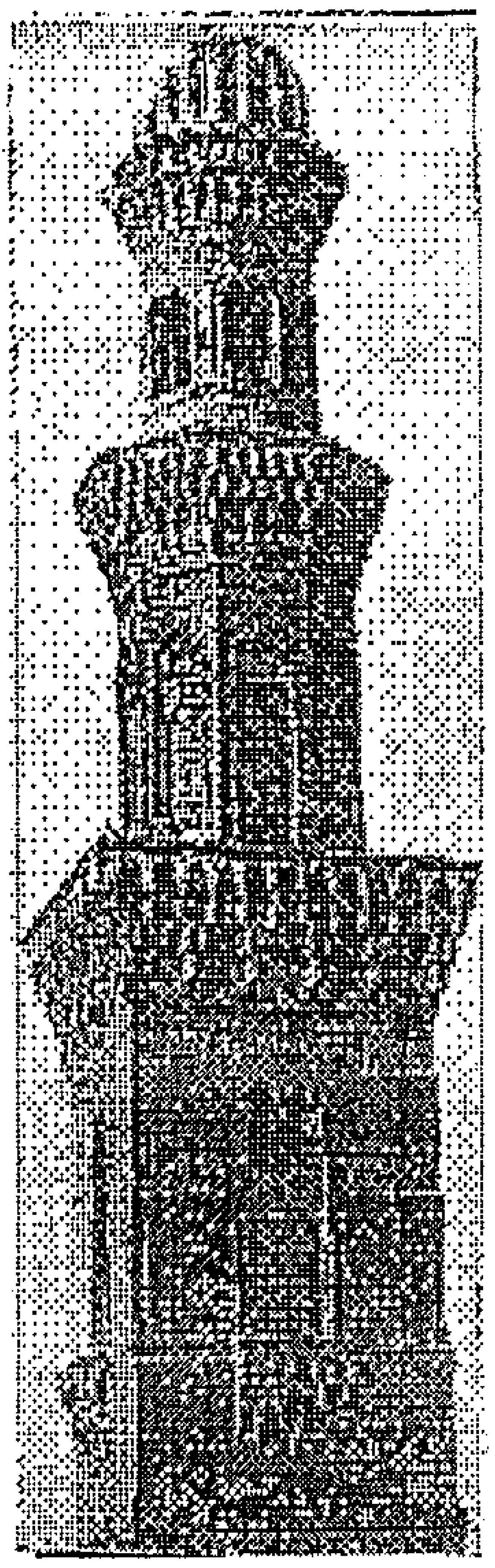


لوحة رقم ( ٨)

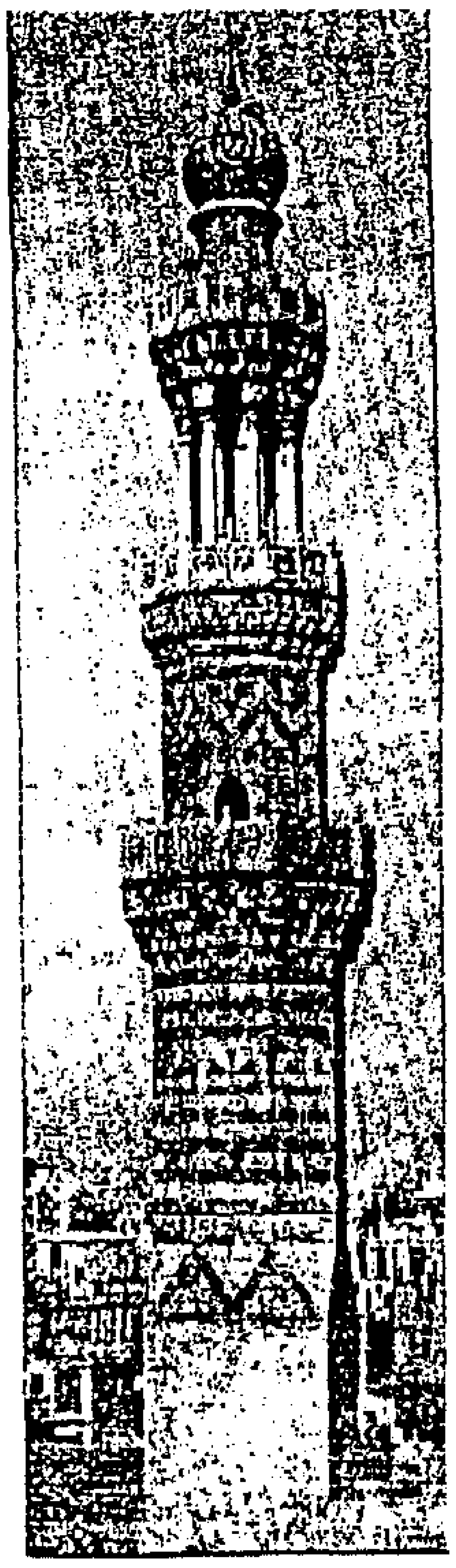
لوحة رقم ( ٦) توضح مئذنة المدرسة الصالحية ، (عن السيد عبد العزيز سالم)

لوحة رقم ( ٧) توضح مئذنة المشهد الحسينى ، (عن السيد عبد العزيز سالم)

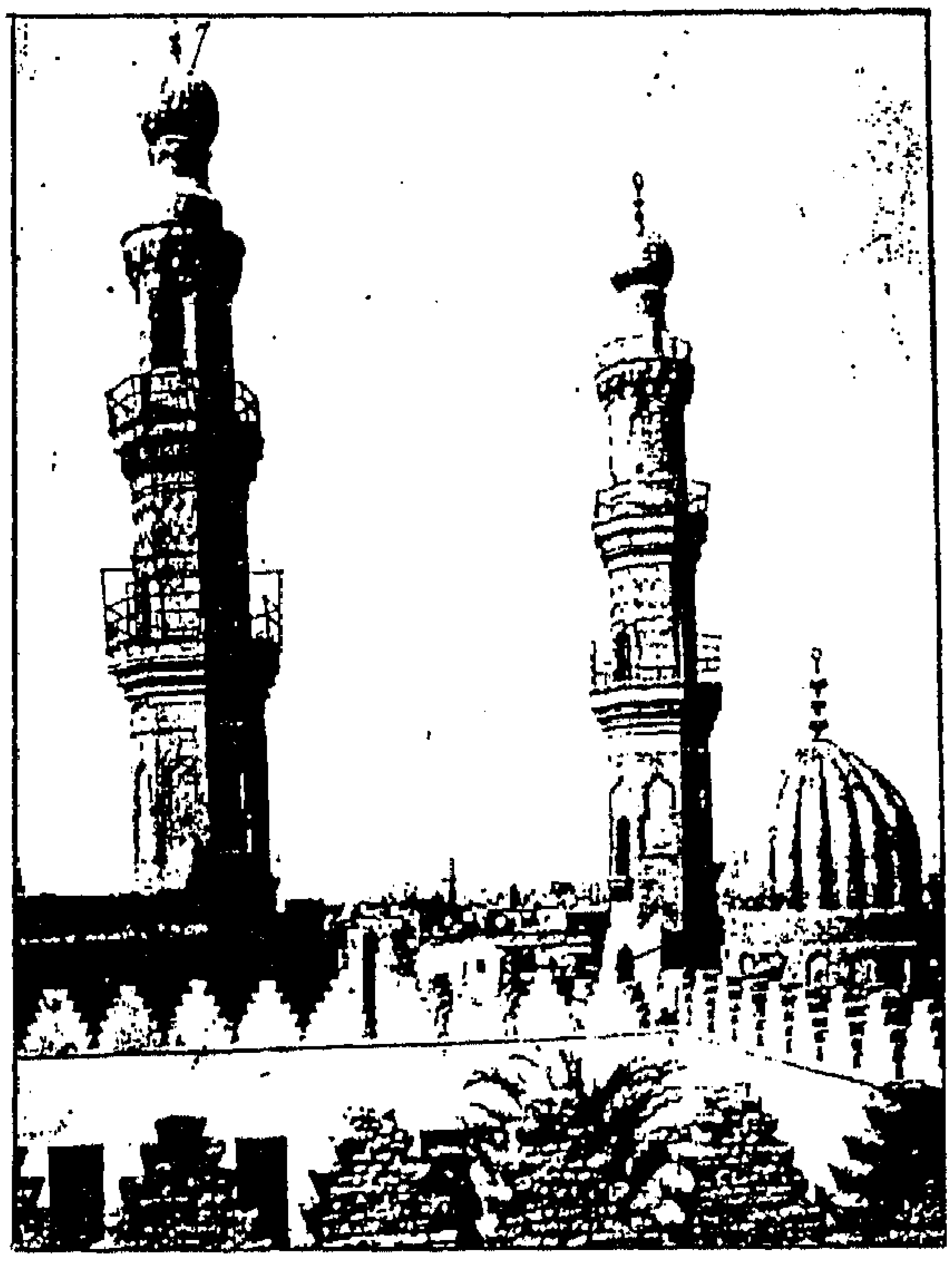
لوحة رقم ( ٨) توضح مئذنة مدرسة حسن صدقة ، (عن السيد عبد العزيز سالم)



لوحة رقم ( ٩)



لوحة رقم ( ١٠)

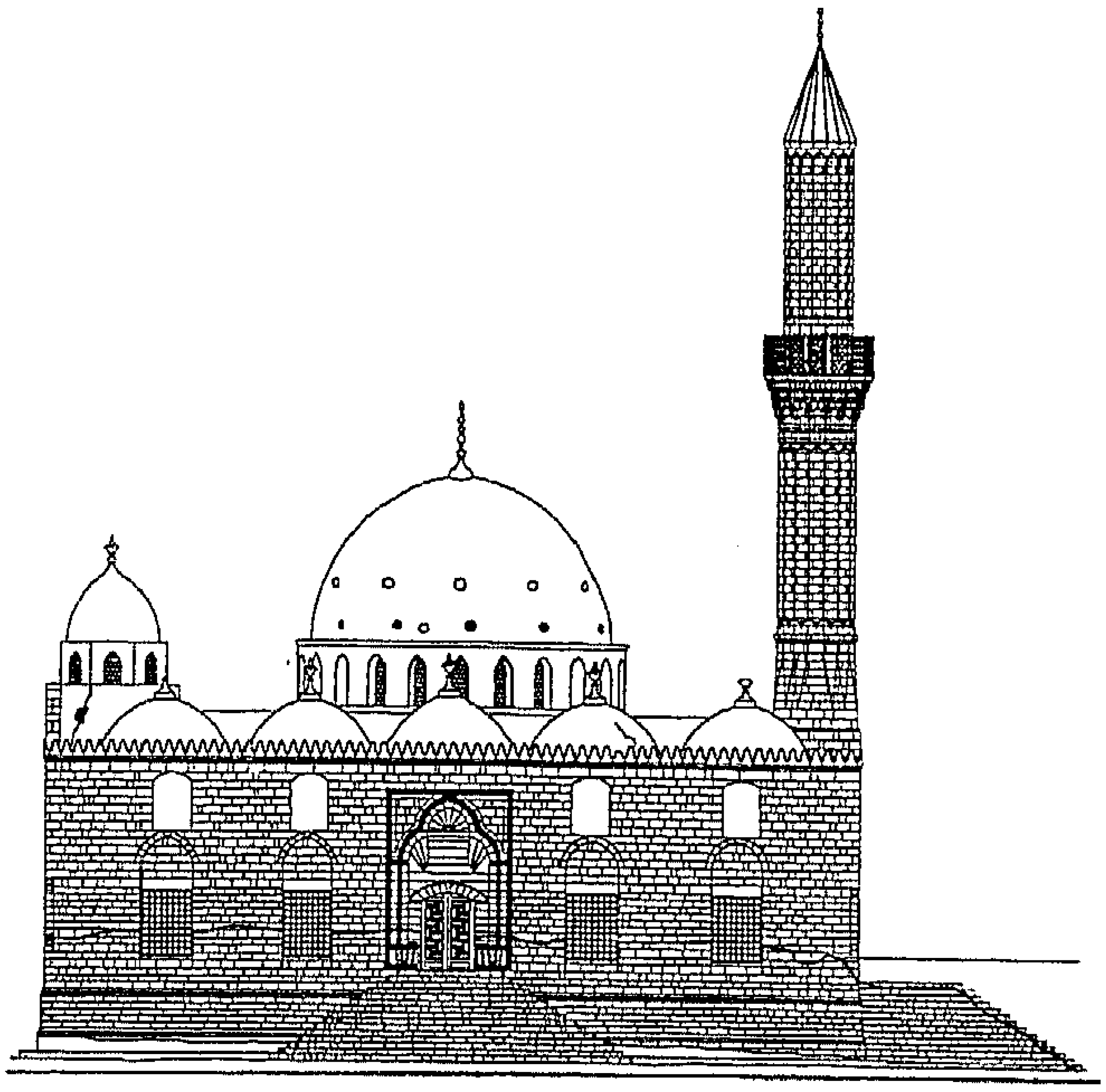


لوحة رقم ( ١١)

لوحة رقم ( ٩) توضح مئذنة مسجد قوصون ، (عن السيد عبد العزيز سالم)

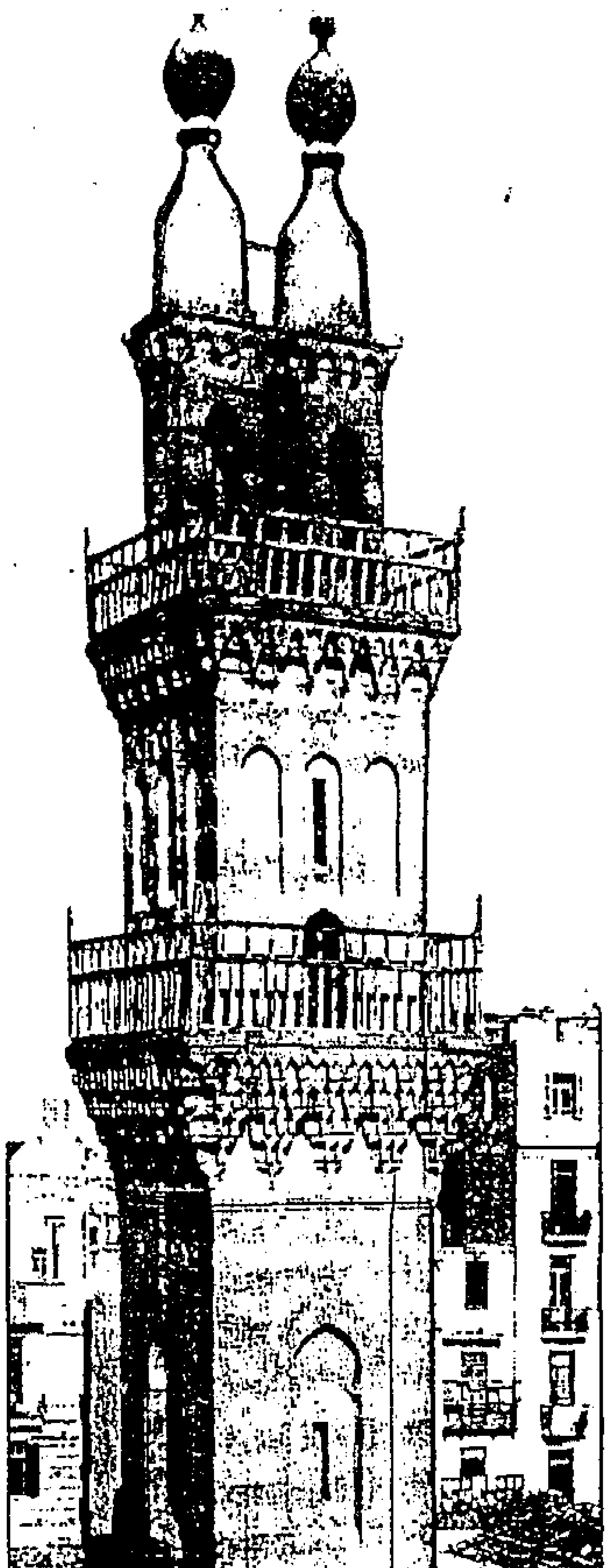
لوحة رقم ( ١٠) توضح مئذنة مدرسة صرغتمش، (عن السيد عبد العزيز سالم)

لوحة رقم ( ١١) توضح مئذنة الأمير شيخو، (عن السيد عبد العزيز سالم)

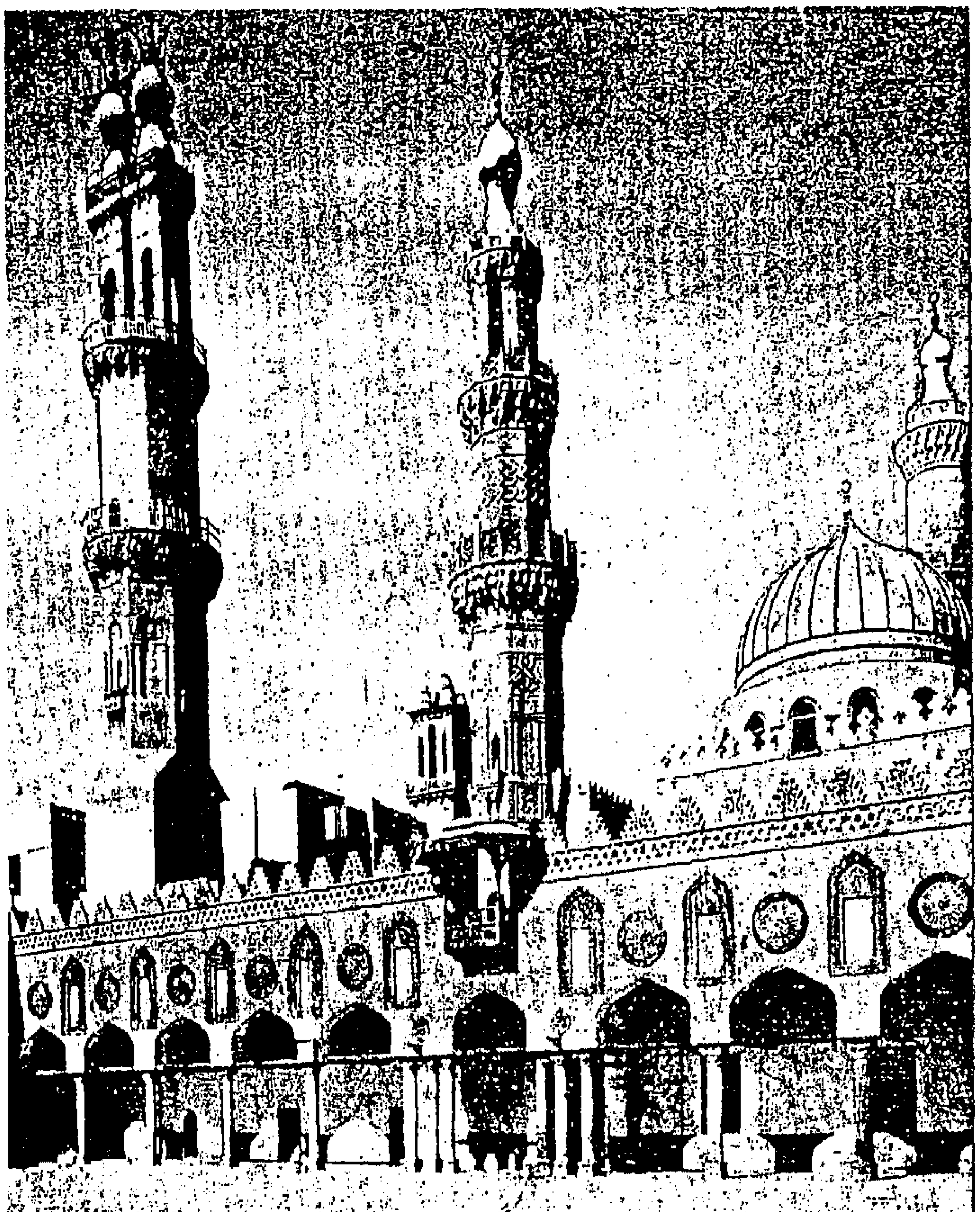


لوحة رقم ( ١٢) توضح مئذنة جامع الملكة صفية
( عن المجلس الأعلي للآثار )

لوحة رقم ( ١٣) توضح مئذنة جامع سليمان باشا بالقلعة (
عن سعاد ماهر ، مساجد مصر، ج ٥ )



لوحة رقم ( ١٤) توضح مئذنة قانيباي الرماح بالقلعة
( عن سعاد ماهر، مساجد مصر ، ج ٤ )



لوحة رقم ( ١٥) توضح مئذنة الغوري ذات الرأسين بجامع الأزهر
( عن السيد عبد العزيز سالم )

### ٥- الشرفات (الدورات - الأحواض) Balconies

وجد في المآذن الأثرية ما عرف بشرفة المؤذن التي يعلن من خلالها دخول وقت الصلاة وأقدم شرفة آذان توجد في مئذنة جامع الجيوشي وهي مربعة وبسيطة وتعود للعصر الفاطمي ، كما وجدت الشرفات المثمنة مثل شرفة مئذنة مشهد أبي الغضنفر (العصر الفاطمي) لوحة رقم (١٦) ومئذنة المدرسة الصالحية (العصر الأيوبي) لوحة رقم (٦) وغيرها كما وجدت الشرفات المستديرة مثل مئذنة مسجد سلاروسنجر الجاولي لوحة رقم (١) ومئذنة خانقاه بيبرس الجاشنكير ومئذنة مسجد الجاي اليوسفي ومئذنة الأشرف برسباي وغيرهم ، كما وجدت الشرفات المسدسة مثل شرفة مئذنة جامع قانيباي المحمدي[١] وجدير بالذكر أن المعمار المسلم فطن إلى تناسب العناصر المختلفة المكونة للمآذن الأثرية مع بعضها البعض ويتضح ذلك من خلال تحليل أبعاد العناصر المعمارية المختلفة لمئذنة الجامع الأزهر ( ٣٦١هـ/٩٧٢م) شكل رقم (٦) .

## سادساً : تطور المآذن الأثرية في مصر خلال العصور الإسلامية المختلفة

## Evolution of The Archaeological Minarets in Egypt Through Different Islamic Periods

لقد تطورت المآذن الأثرية خلال العصور المتعاقبة التي مرت بمصر منذ الفتح الإسلامي حتى العصر الحديث[٢] ولم يبق في مصر من عصر الولاة أية أمثلة للمآذن الأثرية[٣] ونجد أن المقريزي عند الحديث عن إعادة بناء جامع عمرو بن العاص أشار إلى بناء المآذن في مصر لأول مرة وكان ذلك من خلال أربع مآذن أو صوامع على هيئة أبراج مربعة وكان ذلك عام ٥٣هـ / ٦٧٣م[٤] ونجد أن كل عصر من العصور الإسلامية قد تميز بنمط معماري خاص قد يتشابه في أحد عناصره مع المآذن الأثرية في عصر أخر وفيما يلي سنتناول تطور المآذن الأثرية في مصر خلال العصور الإسلامية المختلفة.

### ا- المآذن في العصر الطولوني (٢٥٤هـ - ٢٩٢هـ / ٨٦٨م - ٩٠٥م)

### Minarets in theTulunidPeriod

في العصر الطولوني نري أن المئذنة عبارة عن عنصر معماري منفصل عن المبني الأثرى[٥] ولقد نشأ أحمد بن طولون مؤسس الدولة الطولونية في مدينة سامراء بالعراق ونقل عنها طريقة تشييد مئذنة جامع سامراء (٢٣٢هـ/٨٤٧م) وأنشأ علي غرارها مئذنته بالجامع الطولوني فى مصر (٢٦٣هـ- ٢٦٥هـ/ ٨٧٦ م- ٨٧٩م)[٦] والمئذنة مبنية من الحجر الجيري وتقع بالزيادة الشمالية الغربية من جامع أحمد بن طولون إلى اليسار من المحور[٧] وتعتبر مئذنة جامع أحمد بن طولون هي اقدم المآذن المصرية التي لا تزال باقية[٨] غير أن المئذنة الحالية قد طرأ عليها عدة تغييرات حتى ظهرت بشكلها الحالي فالقاعدة المربعة يرجع إضافتها كتكسية من الخارج

---

(١) عبد الله كامل موسى : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٦١٠ – ص ٦٢٤

(٢) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١م ، ص ١٩٤

(٣) فريد شافعي : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٦٤٨

(٤) توفيق أحمد عبد الجواد: مرجع سابق ، ١٩٨٧م ، ص ١٠٢

(٥) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٠

(٦) كمال الدين سامح : العمارة الإسلامية في مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة ، ١٩٩١م ، ص ١٩٥

(7) Abouseif, D.B.: The Minarets Of Cairo, The American Uni. In Cairo Press, 1987, P.50

(٨) مصطفي عبد الله شيحه : مرجع سابق ، ص ٣٩

قد طرأ عليها عدة تغييرات حتى ظهرت بشكلها الحالي فالقاعدة المربعة يرجع إضافتها كتكسية من الخارج إلى السلطان لاجين السيفي المملوكي (٦٩٦هـ / ١٢٩٦م) وتعتبر تكسية للجزء الأصلي الذي بناه أحمد بن طولون[١] ويعلو القاعدة المربعة بدن أسطواني يلتف حوله سلم دائري[٢] ويرجح أنه جزء اصلي من أيام أحمد بن طولون وفي الجزء العلوي للمئذنة يوجد طابقان مثمنان العلوي أصغر من السفلي وكلاهما به درج من الداخل وينتهيان من أعلي بصفوف من المقرنصات وبينهما شرفه بارزة وتنتهي القمة العليا للمئذنة بقبة صغيرة مضلعة[٣] ويبلغ ارتفاع المئذنة عن سطح الأرض ٤٠,٤٤متر ا ، لوحة رقم (٢)[٤]، وتعتبر مئذنة جامع أحمد بن طولون هي المئذنة الوحيدة في مصر التي تتميز بوجود سلم دائري خارجي يلتف حول البدن الأسطواني للمئذنة[٥] ويشبه هذا النظام نظام المئذنة الملوية بالمسجد الجامع بسامراء وكذلك مئذنة مسجد أبي دلف بنفس المدينة وهذه المآذن العراقية ما هي إلا صورة متطورة من المعابد الفارسية التي كانت تعرف باسم (زيجورات) في زمن السومريين والبابليين أو (الإتشكاه) وهي معابد النار التي كان يقيمها الساسانيون[٦].

## ٢- المآذن في العصر الفاطمي (٣٢٥هـ - ٥٦٧هـ / ٩٦٩م - ١١٧١م)

## Minarets in theFatimidPeriod

نجد في العصر الفاطمي بعض المآذن تتكون من ثلاث طوابق [٧] ، الأول مربع المسقط قليل الارتفاع والأوسط عبارة عن اسطوانة مرتفعة والثالث مثمن القطاع وينتهي من اعلي بقبة ومن أمثلة هذه المآذن مئذنة الجامع الكبير باسنا (٤٧٤هـ / ١٠٨٠م) بجنوب مصر[٨] لوحة رقم (١٧) وقد ألحق بهذه المآذن شرفه خشبية محمولة علي كوابيل من الخشب وتوجد هذه الشرفة اسفل القبة أو في منتصف الطابق الأوسط[٩].

ولم يتبق من مآذن القرنين العاشر والحادي عشر الميلاديين الفاطمية سوي مئذنتا جامع الحاكم بأمر الله (٣٩٣هـ - ١٠٠٣م) لوحتين رقمى (٤) و (٥) ومئذنة جامع الجيوشي (٤٧٢هـ - ١٠٨٠م) لوحة رقم (٣)

أما المئذنة الوحيدة التي تبقت من القرن الثاني عشر الميلادي فهي مئذنة مسجد أبي الغضنفر (٥٥٢هـ/ ١١٥٧م) لوحة رقم (١٦).

## مئذنة الجيوشي (٤٧٢هـ / ١٠٨٠م)

تعتبر هذه المئذنة لوحة رقم (٣) من أهم المآذن المصرية الأولى إذ أنها تصور مرحلة من مراحل تطور المئذنة المصرية ، وقد أزيل عن أجزائها العليا طبقة الجص التى كانت تغطى بناءها المتخذ من الآجر (الطوب المحروق)

---

(١) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ص ٣٠

(٢) توفيق أحمد عبد الجواد : مرجع سابق ، ص١٠٢

(٣) مصطفي عبد الله شيحه : مرجع سابق ، ١٩٩٢، ص ٤٠

(٤) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١م ، ص ١٩٥

(5) Abd El-Aty , Y.Y.A. : Op. Cit. , 1999 , P.29

(٦) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص١٥

(٧) صالح لمعي مصطفي : التراث المعماري الإسلامي في مصر ، دار النهضة العربية ، بيروت ، الطبعة الأولى ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

(٨) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠ ، ص ٤٤٨

(٩) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

، وتتألف المئذنة من قاعدة مربعة مرتفعة أضيفت إليها فيما بعد غرفة تسقفها قبوات متعارضة ، ويقوى الجدران المبنية من كتل الأحجار وصفوف الآجر عوارض خشبية وتعتبر القاعدة الظاهرة أبرز جزء فى بناء المئذنة ، وفى أعلاها نلمح عنصراً هاماً هو صفان من المقرنصات فى صورتها الأولى كان الغرض منها فيما يبدو حمل سياج شرفه ، والإفريز الأدنى منها يشتمل على صف من العقود الصغيرة التى تكاد تلتصق بالجدار، ونلاحظ أن هذه هى المرة الأولى التى نشهد فيها هذه الظاهرة فى عمائر القاهرة ، وقد كانت هذه الطريقة تطبق على القباب لتحويل مسطح واسع إلى مسطح ضيق فنراها هنا على العكس من ذلك لتحويل مسطح ضيق إلى مسطح واسع ، وهو استعمال مضاد للمقرنصات المقوسة ، وقد أخذ البناءون يكثرون من هذا العنصر وبالغوا فى استعماله حتى فقد صفته المعمارية وأصبح عنصراً زخرفياً أكثر منه معمارياً [١] ، ويعتقد أن بلاد فارس تبعت مصر فى هذا الاستعمال ، إذ يوجد مثل هذا العنصر فى المئذنة الأسطوانية المعروفة بمنار "على" التى بناها ملكشاه فى أصفهان (١٠٧٢م-١٠٩٢ م) ويعلو القاعدة المربعة طابق مربع آخر من الآجر مشطوف الأركان أصغر حجماً من مربع القاعدة وتتوسط كل جانب من جوانب هذا المربع نافذة مرتفعة مطوله يعلوها عقد منكسر ، ويقوم على هذا الطابق المربع طابق مثمن الشكل ، تنفتح فى كل جانب من جوانبه الثمانية نافذة معقودة ، ويتوج المئذنة قبة من الآجر ، ويعد هذا أول استعمال للطابق العلوى المثمن ، وتسود البساطة سائر أجزاء البناء ، وسنرى أن المآذن القادمة تتسم بالزخرفة والتأنق، ومئذنة الجيوشى تعيد إلى أذهاننا ذكرى مئذنة سيدى عقبة بالقيروان [٢]، شكل رقم (١) ومع ذلك فإننا نلاحظ أن هذا النظام لا يعدو أن يكون تكراراً فى نسب رشيقة لتعاقب أجزاء قبة مئذنة الجيوشى نفسها [٣] ، ويقوم وجه الشبة بين مئذنة الجيوشى ومئذنة القيروان التى اتخذت نموذجاً لمئذنة جامع صفاقس (٣٧٠هـ/٩٨١) لوحة رقم (١٨) على وجود ثلاث طوابق أساسية [٤]الأول وهو القاعدة المربعة الشكل والطابق الثانى مربع الشكل أصغر حجماً من طابق القاعدة ، والثالث جوسق قائم من أعلى الطابق الثانى تعلوه قبة ، إلا أن مئذنة الجيوشى تختلف عن مئذنة القيروان أو صفاقس فى أن طابقها العلوى مثمن الشكل بينما طابق مئذنة القيروان مربع ، ولكن هذا الاختلاف لا يؤثر على الإطلاق فى تشابههما الكبير فى النسب والشكل العام[٥] .

وتنحصر أهمية مئذنة الجيوشى فى أنها أقدم أمثلة الطراز المصرى للمآذن المعروفة باسم مئذنة المبخرة ، وهو النوع الذى دام استخدامه حتى الربع الثانى من القرن الرابع عشر ، ثم أخذ نظام المآذن منذ الفترة التى بنيت فيها مئذنة الجيوشى يتطور من نفس عناصر المئذنة التى شاهدناها مع بعض المبالغة فى التفاصيل الزخرفية والعناية برشاقة النسب والاهتمام بزيادة ارتفاع الطابق المثمن العلوى على حساب القاعدة المربعة .

وفيما يلى عرض لبعض المحاولات لتطور المئذنة قبل مئذنة الجيوشى والتى تعود إلى بدر الجمالى

وقد عرف بدر الجمالى ببنائه التحصينات والأسوار ومع ذلك فقد كان يميل إلى بناء المساجد وإليه تنسب المآذن التالية مرتبة وفقاً لدرجاتها فى التطور .

---

(١ ) السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن أصلها وتطورها منذ الفتح العربى حتى الفتح العثمانى ، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص١٩ .

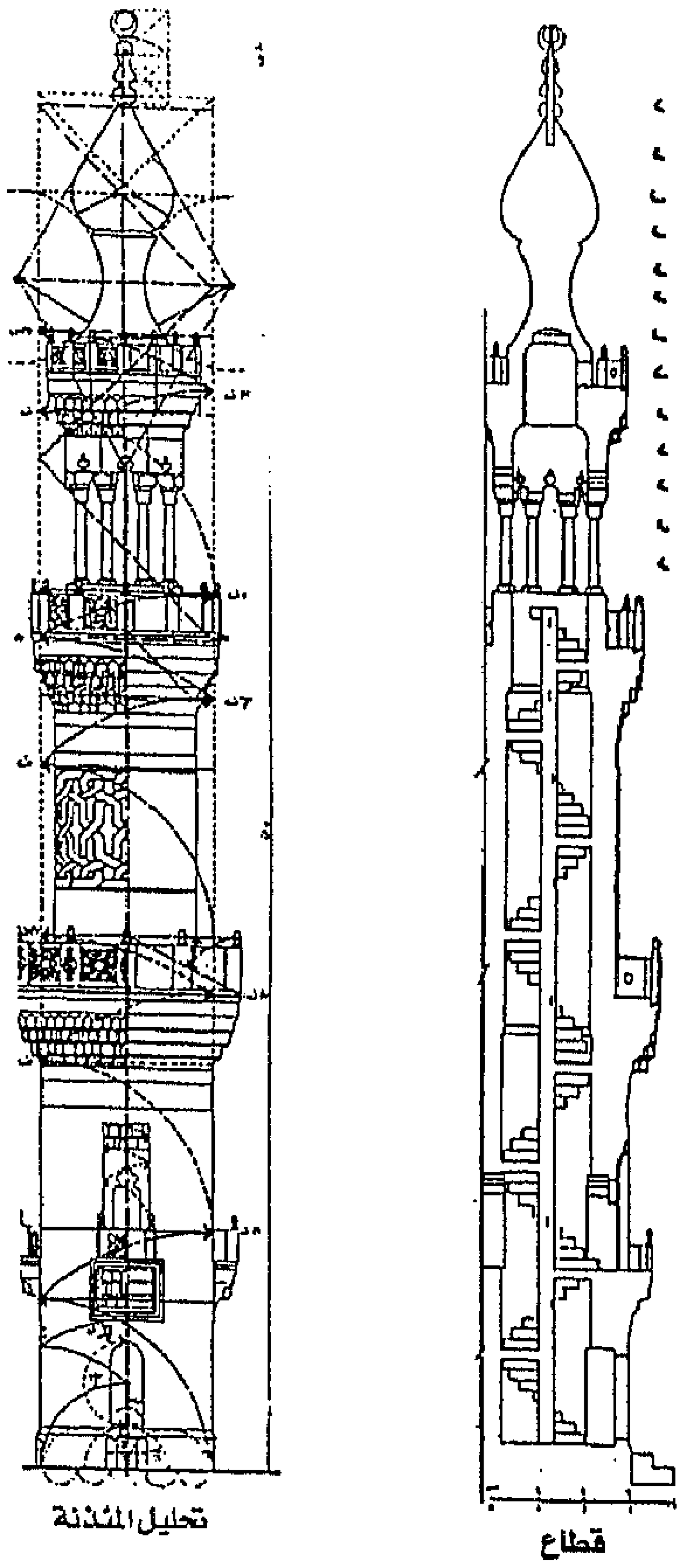
(٢ ) أحمد فكرى : المسجد الجامع بالقيروان ، القاهرة ، ١٩٣٦ ، ص١٠٨ .

(٣ ) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص١٩.

(٤ ) أحمد فكرى : مرجع سابق ، القاهرة ، ١٩٣٦ ، ص١٠٨ .

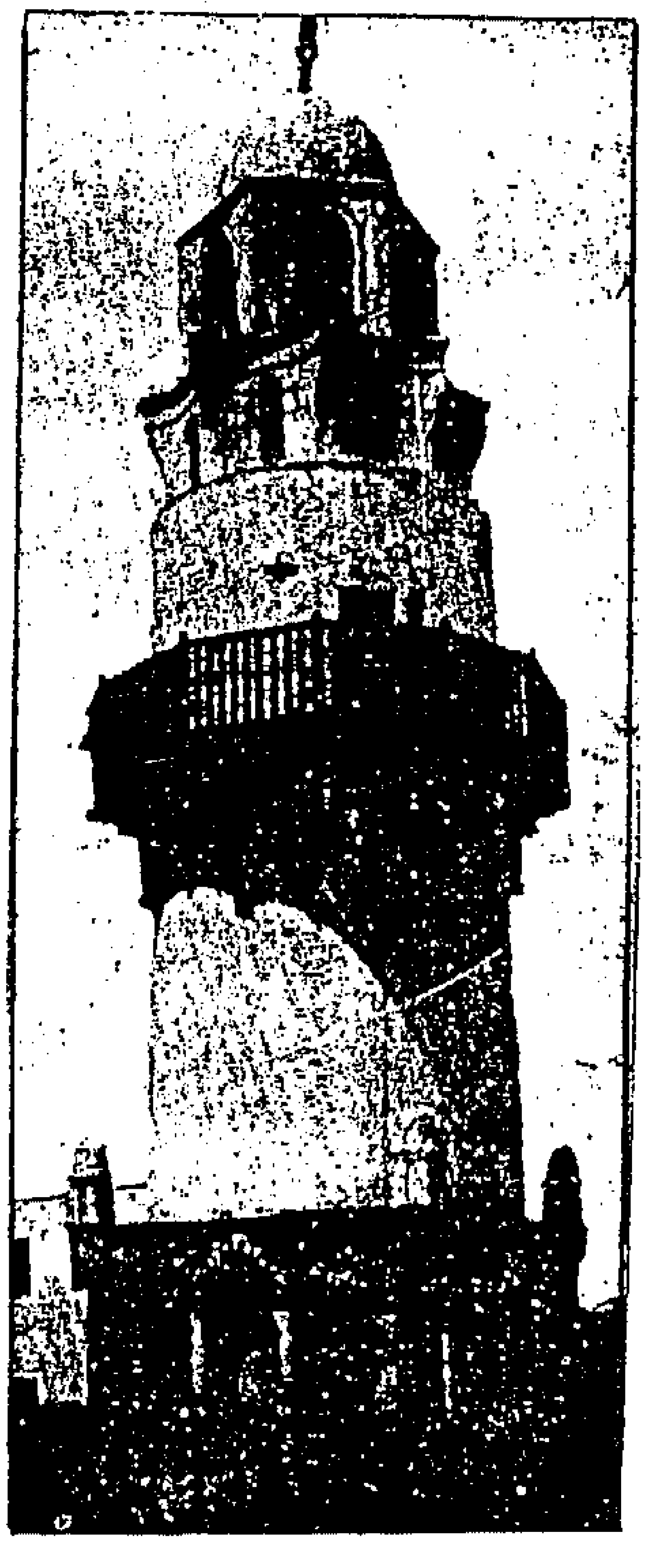
( 5) Creswell (K.A.C.) : Muslim Architecture Of Egypt ,Oxford , 1951, P.77.

لوحة رقم (١٦)

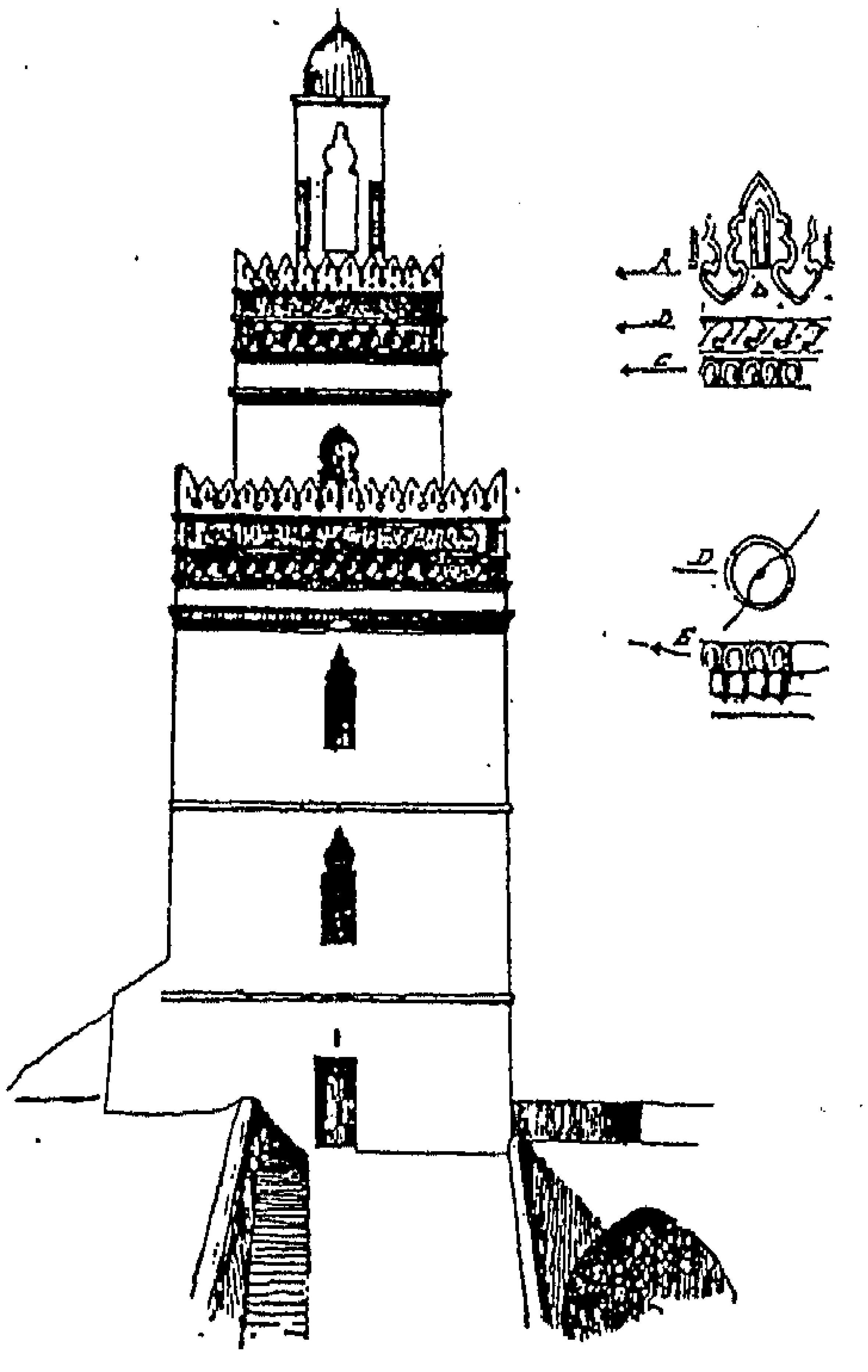



شكل رقم ( ٦)

لوحة رقم ( ١٦) توضح مئذنة مسجد أبي الغضنفر، (عن السيد عبد العزيز سالم)
شكل رقم ( ٦) يبين تحليل أبعاد العناصر المعمارية لمئذنة قايتباي بالأزهر



لوحة رقم (١٧)
توضح مئذنة جامع أسنا
عن السيد عبد العزيز سالم



لوحة رقم (١٨)
توضح مئذنة جامع صفاقس بتونس
عن يحيي وزيري

### (١) مئذنة أسوان (٤٦٩هـ -٤٧٤هـ/ ١٠٧٧م-١٠٨١م)

تتألف مئذنة أسوان من طابق أدنى مربع القاعدة تنحدر جدرانه من جهاته الأربعة نحو الداخل انحداراً خفيفاً كلما أخذ فى الارتفاع مما يولد الإحساس بقوة البناء واتزانه ورسوخه ويعلو هذا الطابق طابق أسطوانى مرتفع يضيق كلما أرتفع[١]. وكان يتوج المئذنة طابق أخير تعلوه قبة ولكنه هدم عن آخره .

### (٢) مئذنة المشهد البحرى أو الباب قرب الشلال (٤٦٩هـ -٤٧٤هـ/ ١٠٧٧م-١٠٨١م)

تتكون من قاعدة مربعة تنحدر جدرانها نحو الداخل كلما ارتفعت المئذنة ، ويعلوها ساق أسطوانية تضيق كلما ارتفعت وتتوجها شرفه بارزة ، ويعلو هذا الساق بناء مربع تميل جدرانه نحو الداخل كلما ارتفع وتتوجه قبة[٢] .

### (٣) مئذنة المشهد القبلى أو مئذنة بلال قرب الشلال (٤٦٩هـ -٤٧٤هـ/ ١٠٧٧م-١٠٨١م)

قاعدتها مربعة ونصفها الأدنى من الحجر الرملى والنصف العلوى من الآجر ، ويعلوها ساق أسطوانية تضيق بشكل طفيف كلما ارتفعت قامتها ، ويتوج هذا الساق أفريز منبعج يقوم عليه جوسق مثمن الشكل من ثلاث طوابق تضيق كلما ارتفعت ، ويعلو الطابق الأخير منها قبة، وتتعاقب فى جوانب المثمن نافذة مجوفة فنتوء مرتفع القمة، ونلاحظ وجود كتابات كوفية على مثال الكتابات التى تعلو المآذن الإيرانية، ومثل هذه الكتابات موجودة بواجهة مسجد الباب المردوم بطليطله [٣] .

### (٤) مئذنة جامع أبى الحجاج بالأقصر (٤٦٩هـ -٤٧٤هـ/ ١٠٧٧م-١٠٨١م)

ترتفع فوق سطح يقع إلى يسار الواجهة الشمالية للمسجد ، وتبدأ بساق مربعة تضيق كلما ارتفعت ، وتدعمها عوارض خشبية ، ويعلو القاعدة ساق أسطوانية تضيق قليلاً كلما ارتفعت وتتوجها فى أعلاها قبة صغيرة .

### (٥) مئذنة جامع إسنا (٤٦٩هـ -٤٧٤هـ/ ١٠٧٧م-١٠٨١م)

تتألف من طابق أدنى مربع الشكل يعلوه جسم أسطوانى يضيق كلما ارتفع وتدور حوله شرفة خشبية . ويعلو الطابق الأسطوانى طابق مثمن جوانبه مقعرة . وقد لاحظ "كريسويل" أن الأركان العليا من هذه الجوانب المقعرة تبرز إلى الخارج كالقرون كما هو الحال فى أضرحة أسوان التى ترجع إلى القرن الحادى عشرالميلادى ، وفى أعلى المئذنة جوسق مسدس الشكل صغير ، فى كل جانب من جوانبه الستة نافذة معقودة منكسرة ، ويتوج المئذنة قبة صغيرة ، ونلاحظ فى المآذن الفاطمية بأسوان وإسنا والأقصر أنها متأثرة بالنماذج الفارسية ، على أنها تكشف لنا عن تأثرها فى نفس الوقت بالتقاليد المغربية [٤].

---

( 1) Shafi,i, F.: West Islamic Influences On Architecture In Egypt, XVI , Part II, 1954 ,P.12.

( 2) Creswell (K.A.C.) : Muslim Architecture Of Egypt ,Oxford , 1951, P.77.

(٣ ) السيد عبد العزيز سالم : مسجد المسلمين بطليطله ، مجلة كلية الآداب ، جامعة إسكندرية ، مايو ١٩٥٨، ص١٨.

(٤ ) السيد عبد العزيز سالم : القاهرة مدينة المآذن ، المجلة ، العدد السادس عشر ، إبريل ١٩٥٨ ، ص ٣٦.

## مئذنة جامع أبى الغضنفر (٥٥٣هـ/١١٥٧م)

تعتبر هذه المئذنة المثل الوحيد للمآذن الفاطمية فى القرن الثانى عشر ، كما أنها تمثل آخر مرحلة من مراحل التطور التى مرت عليها المئذنة الفاطمية لوحة رقم (١٦) ولا تختلف فى تكوينها كثيراً عن مئذنة الجيوشى، فإن قاعدتها المربعة تزيد فى ارتفاعها ورشاقتها عن القاعدة المربعة لمئذنة الجيوشى وتنتهى هذه القاعدة بشرفة تتكئ على مساند خشبية ونلاحظ أن مادة البناء فيها هى الآجر، وكذلك تختلف هذه المئذنة عن مئذنة الجيوشى فى أنها تخلو من الطابق المربع الثانى الذى يتراجع عن القاعدة فى مئذنة الجيوشى ، وفى أن طابقها المثمن ازداد تناسقاً وأن جوانبه فتحت فيها نوافذ تعلوها فتحات مضلعة الرؤوس تعتبر امتداداً لتقاليد سامراء ، أما القبة فتشبه قبة مئذنة الجيوشى فى خطوطها العامة وفى قطاعها ولكنها تختلف عنها فى أن سطحها الخارجى مقسم إلى ضلوع بارزة ، ويوجد بين القبة والطابق المثمن عنق مثمن الشكل فتحت فى كل جانب منه نافذة تعتبر تقليداً للفتحات التى تتوزع فى المحيط الخارجى لقباب الأضرحة [١].

وهكذا وضحت معالم المآذن المصرية الأولى فى العصر الفاطمى، وكانت تتألف من برج مربع ينتهى بشرفة، ويقوم فوق هذا البرج طابق آخر مربع ، كما يتمثل فى مئذنة الجيوشى ، يتراجع بعض الشئ عن سطح القاعدة ، وقد اختفى هذا الطابق بعد ذلك ، واستبدل بطابق مثمن فى مئذنة ابى الغضنفر فتحت فيه تجاويف مضلعة الرؤوس ، وارتفعت فوق هذا الطابق المثمن رقبة مثمنة الأضلاع تعلوها خوذه مضلعة ، ويرتسم قطاع هذه الخوذة على شكل عقد محدب ، وفى هذه المرحلة كانت القاعدة المربعة للمئذنة هى الظاهرة الغالبة على شكلها العام ، وظهرت فى مئذنة أبى الغضنفر حشوتان زخرفيتان فى الواجهتين الشمالية والغربية ، وقد تطور ذلك فى مئذنة الصالح نجم الدين [٢] .

## مئذنتا جامع الحاكم بأمر الله (٣٩٣هـ/١٠٠٣م)

تقع مئذنتا جامع الحاكم بأمر الله في الركنين الشمالي الشرقي والجنوبي الغربي وتبرزان عن الجدار الخارجي[٣] وتختلف هاتان المئذنتان عما كانتا عليه زمن بنائهما ويرجع ذلك الاختلاف إلى ما أجراه بيبرس الجاشنكير عليهما من إصلاحات عام ١٣٠٩م بعد أن أصيبتا من جراء زلزال عام ١٣٠٣م وهو الزلزال الذي سبب هدم قمتي المئذنتين[٤] ولكل من المئذنتين قاعدة هرمية ناقصة حيث يتألف الجزء الأصلي من المئذنة الشمالية الشرقية من قاعدة مربعة وجسم أسطواني لوحة رقم (٥) أما المئذنة الجنوبية الغربية فتتكون من قاعدة تنتهي بمثمن لوحة رقم(٤) أما باقي أجزاء المئذنتين فمضافة في عهد السلطان الناصر محمد بن قلاوون علي يد بيبرس الجاشنكير عام ١٣٠٩م ، وقد بناهما من الطوب المحروق (الآجر) وفتحت فيهما عدة فتحات وزودت بثلاثة شرفات متراكبة تتميز العليا والسفلي منها بوجود ثمان نوافذ تفصلها مقرنصات ويعلو كلا من هاتين المئذنتين قبة علي شكل مبخرة[٥] كما

---

( 1) Creswell (K.A.C.) : The Evolution Of The Minaret, Burlington Magazine, 1926, P.10 .

(٢ ) السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن أصلها وتطورها منذ الفتح العربى حتى الفتح العثمانى، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص٢٢ .

(٣) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص ١٧

(4) Shafii , F.: West Islamic Influences, PP. 6-9

(٥) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص ١٨

يتضح من اللوحة رقم (١٩) ، أما مئذنة جامع الجيوشي والتي يرجع إنشائها إلى بدر الجمالي عام ٤٧٨هـ / ١٠٨٥م[١] وقد سلك مهندسها نفس طريقة بناء مئذنتي جامع الحاكم وإن اختلفت مادة البناء فاستعمل الطوب المحروق (الآجر) بدلا من الحجر وتوجت المئذنة بقمة علي هيئة نصف قبة ملساء دون زخارف[٢] ونجد أن مئذنة أبي الغضنفر (٥٥٢هـ / ١١٥٧م) لا تختلف كثيرا عن مئذنة الجيوشي غير أن القاعدة المربعة العالية تنتهي بشرفة من الخشب مثمنة[٣] وتعتبر هذه المئذنة هي المثال الوحيد الباقي للمآذن الفاطمية في القرن الثاني عشر وتمثل مرحلة من مراحل تطور المآذن وقد بنيت من الآجر وفي اعلي القمة توجد قبة لها استطالة رأسية ومضلعة وقد انتشرت بعد ذلك في العصر الأيوبي وعرفت باسم (المبخرة).

وهكذا نجد اتضاح معالم المآذن الأثرية المصرية الأولى حيث تألفت من قاعدة مربعة تنتهي بشرفة ويعلو القاعدة المربعة طابق آخر مربع كما في مئذنة الجيوشي وقد اختفي هذا الطابق بعد ذلك واستبدل بطابق مثمن كما في مئذنة أبي الغضنفر فتحت فيه تجاويف مضلعة الرؤوس وارتفعت فوق هذا الطابق المثمن رقبة مثمنة الأضلاع تعلوها خوذة مضلعة ويظهر قطاع هذه الخوذة علي شكل عقد محدب[٤].

## ٣- المآذن في العصر الأيوبي (٥٦٧هـ - ٦٤٨هـ / ١١٧١م - ١٢٥٠م)
## Minarets in theAyyubidPeriod

في العصر الأيوبي كانت المئذنة تتكون من طابقين : السفلي مربع المسقط والعلوي مثمن وأصبح الجزء العلوي مرتفعا[٥] مما نتج عنه تكامل في نسب المئذنة بالمقارنة مع مآذن العصر الفاطمي[٦] وتنتهي مئذنة العصر الأيوبي من أعلي بقبة أطلق عليها المعماريون اسم (طراز المبخرة)[٧] ويشكل مسطحها الخارجي علي هيئة فصوص (Ribs ) أما الشرفة الخشبية فقد وجدت بين الطابقين المربع والمثمن[٨] وقد زخرفت المآذن من الخارج بحطات المقرنصات مع وجود تجويفات معقودة بعقد مثلث نظمت فيها الفتحات[٩] ، وكانت المئذنة حتى هذه الفترة تبني من الطوب المحروق (الآجر) المكسي بطبقة من الملاط باستثناء مئذنتي جامع الحاكم التي بنيت أجزائهما الأصلية الباقية من الحجر[١٠] ولم يتبق من العصر الأيوبي سوي مئذنتان وهما مئذنة المشهد الحسيني(٦٣٤هـ - ١٢٣٧م) ومئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب (٦٤١هـ/١٢٤٣م) ومئذنة المشهد الحسيني أنشأها صلاح الدين الأيوبي علي باب المشهد الحسيني ولم يتبق منها غير القاعدة الأيوبية لوحة رقم (٧) ، أما الجزء العلوي فقد تعرض للتهدم واستبدل به بناء علي الطراز العثماني أما مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب لوحة رقم (٦) فتعتبر المئذنة

(١) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠م ، ص ٤٤٨

(٢) حسني نويصر : العمارة الإسلامية في مصر (عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص ٢٤٧

(٣) كمال الدين سامح : العمارة الإسلامية في مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة ، ١٩٩١م ، ص ٢٠١

(4) Creswell (K.A.C) : Op. Cit., 1926, P.10

(٥) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

(6)Principles Of Architecture Design And Urban Planning During Different Islamic Eras, PP. 448-449

(٧) حسني نويصر : مرجع سابق ، ١٩٩٦م ، ص ٢٤٧

(٨) صالح لمعي مصطفي :مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣١

(9) Abouseif, D.B. : The Minarets Of Cairo , The American Uni. In Cairo Press, 1987, P.18

(١٠) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩م ، ص ٢٣-٢٥

به بناء علي الطراز العثماني أما مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب لوحة رقم (٦) فتعتبر المئذنة الوحيدة التي تبقت لنا كاملة من العصر الأيوبي وتعلو المئذنة واجهة مدخل المدرسة وبذلك نجد أن المآذن في العصر الأيوبي كانت من قاعدة مربعة يعلوها بدن مثمن مرتفع ويتوجه قبة مضلعة علي هيئة المبخرة وسيظل هذا النظام للمآذن متبعا بعد سقوط الدولة الأيوبية بنحو نصف قرن ونلاحظ أن القاهرة تختص دون غيرها بهذا النوع الفريد من المآذن ذات المباخر .

**مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب (٦٤١هـ / ١٢٤٣م)**

تعتبر المئذنة الوحيدة التى تبقت لنا سليمة من العصر الأيوبى ، أنشأها الملك الصالح نجم الدين أيوب بن الكامل فى (٦٤١هـ /١٢٤٦م) لوحة رقم (٦) وفى أعلى الباب بأسفل المئذنة لوحة تشير إلى تاريخ بناء المدرسة نصها (بسملة أمر بإنشاء هذه المدرسة المباركة مولانا السلطان الأعظم الملك الصالح نجم الدين بن محمد بن أبى بكر أيوب فى سنة إحدى وأربعين وستمائة) ، ولم يبق من المدرسة إلا واجهتها الغربية ، بمدخلها المشرف على شارع بين القصرين وإيوان المالكية وجزء من الرواق الشمالى والصحن ، وتنتصب المئذنة فوق واجهة المدخل وتمثل المئذنة الاتجاه فى زيادة ارتفاع الطابق المثمن على حساب القاعدة المربعة التى ما تزال تحتفظ بتفوقها فى الارتفاع على الطابق المثمن ، ويزين كل وجه من أوجه القاعدة المربعة ثلاث تجويفات طولية فتحت فى الوسطى منها نافذة رأسها على شكل عقد متعدد الفصوص بينما يوجد فى كل من التجويفين الجانبيين نافذة صماء ، ويعلو كل تجويف طاقة مقرنصة على شكل عقد فارسى [1] شكل رقم (٧) ، وتقوم على هذه القاعدة شرفة مثمنة الشكل تتكئ على ركائز خشبية قوية تماثل ركائز مئذنة أبى الغضنفر ويعلو القاعدة المربعة طابق مثمن زين كل وجه من أوجهه الثمانية بنفس التجويفات الطولية المعقودة التى نراها بالطابق المربع ، وتوجت مثلها بمناطق معقودة مقرنصة، ونلاحظ هنا أن الطابق المثمن قد ازداد ارتفاعا عنه فى مئذنة أبى الغضنفر ، لوحة رقم (١٦) فى حين أخذ طابق القاعدة المربع فى التضاؤل، ويقوم على الأركان طابقان من المقرنصات تفصل بين نوافذ عقودها المتعددة الفصوص ، وأحيطت قاعدة الخوذة المضلعة المماثلة لخوذة أبى الغضنفر بتاج من الأسنة البارزة [2].

**٤ـ المآذن في العصر المملوكي البحري (٦٤٨هـ - ٧٨٤هـ/ ١٢٥٠م - ١٣٨٢م)**

**Minarets in theBaharite MamlukPeriod**

في العصر المملوكي البحري خضع العدد الأكبر من المآذن في البداية إلى نظام المباخر ومن أمثلة ذلك مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب إذ تتألف من بدن مربع مرتفع يعلوه طابق مثمن تعلوه مبخرة[3] وأصبح الجزء السفلي المربع مرتفعا وذلك بالمقارنة مع العصر الأيوبي مع احتفاظ المئذنة بالشكل العام الذي كانت عليه في العصر السابق[4] وفي بداية القرن الرابع عشر الميلادي ، الثامن الهجري أضيف طابق ثالث ذو مسقط دائري إلي المئذنة كما وجد في مئذنة مدرسة سلارو سنجر الجاولي (٧٠٣هـ / ١٣٠٣م) لوحة رقم (١) حيث نجد أيضا أنه زيد في ارتفاع الطابقين العلويين علي حساب الطابق السفلي الذي يمثل القاعدة المربعة[5]. وفيما يلى وصف لهذه المئذنة .

---

(١) السيد عبد العزيز سالم : القاهرة مدينة المآذن ، المجلة ، العدد السادس عشر ، إبريل ١٩٥٨ ، ص١٦

( 2) Creswell (K.A.C.) : The Evolution Of The Minaret, Burlington Magazine, 1926, P.12 .

(٣) السيد عبد العزيز سالم : مرجع سابق ، ١٩٥٩ ، ص ٢٥

(4) Abd El-Aty, Y. Y. A. : Op. Cit., 1999 , P. 30

(٥) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠م ، ص ٤٤٩

**مئذنة سلار وسنجر الجاولى (٧٠٣هـ/ ١٣٠٣م)**

ظهر الطابق المستدير بها لأول مرة وأصبح منذ ذلك الوقت عنصراً هاماً فى نظام المآذن ذات المباخر ويرتفع هـذا الطابق المستدير فوق طابق مثمن ، وقد تأثر مهندس هذه المئذنة بنظام استخدام الحجر فى صفـوف تتـاوب فيـها الألوان من مئذنة السلطان المنصور قلاوون [١] ، ويتميز الطابق المربـع برشـاقته وارتفاعـه بجـوار القبتيـن المتجاورتين ، وقد فتحت فى كل وجه من أوجهه نافذتان ، السفلى منهما من النوع الشائع فى المآذن الأيوبية بينمـا اقترنت النافذة العليا التى تبدو متأثرة بالتقاليد الأندلسية بظهور القواعد المقرنصة البارزة، ثم أن الشرفة التى تتـوج هذا الطابق المربع مربعة الشكل على نقيض الشرفات المثمنة التى استخدمت فيما يعادل نفس هذا الطابق بمئذنتـى الصالح نجم الدين والمنصور قلاوون (١٢٨٥م)، ويسند هذه الشرفة ثلاث طوابق من المقرنصات* كما يتضح مـن الشكل رقم (٤) ، يشبه الطابق المثمن بهذه المئذنة نظيره بمئذنة زاوية الهنود لوحة رقم (٢٠) فيما عدا اشتماله على صف واحد من المقرنصات بينما تشتمل مئذنة زاوية الهنود على صفين يعلو أحدهما الآخر ، ويغلب على الظـن أن ظهور الطابق المستدير بمئذنة مسجد سلار و سنجر الجاولى، هو السبب فى انفصال صفـى المقرنصـات بـأعلى طابقيها المثمن والمستدير[٢].

وهكذا اتخذت المئذنة المصرية طابعا جديدا بعد أن تطورت بالتدريج من مئذنة الجيوشي في مدة لا تتجاوز قرنيـن من الزمان[٣] وقد أثر الطابق العلوي في مئذنة سلاروسنجر الجاولي في ظهور المآذن بعـد ذلـك التـي تنتـهي بالجواسق القائمة علي أعمدة حيث نجد أنه في عهد الناصر محمد بن قلاوون ظهر طـراز جديـد للمئذنـة وهـو المعروف بطراز (القلة) وهي المئذنة التي تبدأ بقاعدة مربعة ثم بدن مثمن ثم مثمن اصغر ثم منطقة مكونة من عـدة أعمدة تحمل الجزء العلوي المشكل علي هيئة غطاء (قلة) الشرب وقد عرف هذا التكوين باسم الجوسق ومن الأمثلة المبكرة لهذا الطراز مئذنة مسجد الطنبغا المارداني بسكة التبانة (٧٣٩هـ / ١٣٤٠م) لوحة رقـم (٢١) ومئذنـة مدرسة السلطان حسن (٧٦٤هـ / ١٣٦٢م) صورة رقم (١) وغيرهما[٤] وقد شيدت مئذنة شبيهه بمئذنـة مسـجد الطنبغا المارداني في مدينة حلب بسوريا عام ١٣١٨م وقد أنشأها أيضا الطنبغا المارداني ويري "كريزويـل" بنـاء علي ذلك أن الشكل المثمن للمئذنة ربما يكون قد انتقل إلي مصر عن طريق سوريا[٥] وقد أمدتنا الوثائق المملوكيـة بمعلومات هامة عن مآذن هذا العصر وما كانت تقوم به من وظائف إلي جانب الإعلان عن دخول وقت الصلاة أما المؤذنين فقد تراوحت أعدادهم ما بين ستة إلي تسعة إلي اثني عشر مؤذنا وكان لهم رؤساء كما حددت الوثائق مـا كانوا يتقاضونه من أموال وأطعمه[٦].

---

( 1) Hassid , S. : The Sulten's Tarrels , Cairo , 1939, P.57.

* المقرنصات : أو الدلايات فى العمارة الإسلامية تعنى عنصر زخرفى يمثل تقليد للتحجر الطبيعى فى الكهوف .

(٢)السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن أصلها وتطورها منذ الفتح العربى حتى الفتـح العثمـانى ، مؤسسـة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص٢٦.

(٣) السيد عبد العزيز سالم : المرجع السابق ، ص ٢٥

(٤) حسني نويصر : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦ ، ص ٢٤٨

(٥) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١م ، ص ٢٠٢

(٦) حسني نويصر : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص٢٤٩

## ٥ـ المآذن في العصر المملوكي الجركسي (٧٨٤هـ - ٩٢١هـ / ١٣٨٢م - ١٥١٧م)

## Minarets in theGircassian MamlukPeriod

في العصر المملوكي الجركسي امتازت المئذنة بحسن نسبها وارتفاع منسوبها عما سبقها[١] ولـم تكـن كـل هـذه الصفات إلا وليدة الخبرة المصرية التي اكتسبها المعمار طوال العصر الإسلامي حيث توصـل المعمـاريون إلـى الشكل الأمثل للمئذنة بحيث صارت جزء من التكوين المعماري ، منسجمة مع بقية عناصر الواجهة وبنيت غالباً من الحجر وتكونت المئذنة من ثلاث طوابق محمولة علي صفوف من المقرنصات وتبدأ المئذنة بقاعدة مصمتـة مـن الحجر علي شكل مربع حتى مستوي السطح المرتفع وعن طريق شطف الزوايا العليا للمربع يتحول البدن إلى مثمن زخرفت زواياه بحزم من أعمدة ثلاثية مندمجة ويتوج هذا البدن شرفة محمولة علي مقرنصات حجريـة بدلايـات وللشرفة جوانب من الحجر المفرغ بأشكال هندسية ونباتية ثم يتحول البدن إلى مسقط أسطواني ينتهي مـن أعـلاه بمقرنصات حاملة للشرفة الثانية للمئذنة ويكون الطابق الثالث علي هيئة أعمدة من الرخام تحمل الجوسـق العلـوي للمئذنة الذي يشكل علي طراز غطاء قلة الشرب [٢] وأصبحت المئذنة غنية بالزخارف الحجريـة وزادت صفـوف المقرنصات بنهاية كل طابق[٣] ومن أهم أمثلة المآذن في هذا العصر مئذنتا خانقاه فرج بن برقـوق (٨٠١هـ - ٨١٣هـ/١٣٩٩م - ١٤١١م) ومئذنة مدرسة الأشرف برسباي (المدرسة الأشرفية) (٨٢٩هـ / ١٤٢٥م) ومئذنـة مدرسة قايتباي بالقرافة الشرقية (٨٧٩هـ / ١٤٧٤م) ، لوحة رقم (٢٢) ومئذنة مدرسـة قايتبـاي بقلعـة الكبـش (٨٨٠هـ/١٤٧٥م) ومئذنة مدرسة برقوق بالنحاسين (٧٨٦هـ / ١٣٨٤م) لوحة رقم (٢٣) وكذلك مئذنتا مسـجد المؤيد شيخ (١٤١٥م- ١٤٢٠م)[٤] شكل رقم (٨).

ومن أهم المميزات المعمارية التي انفرد بها عصر المماليك الجراكسة هو المآذن المزدوجة أو المتعـددة الـرؤوس والذي يعتبر طراز مصري لم تسبق إليه[٥] وشاعت هذه المآذن بمصر في نهاية القرن التاسع الهجري وأوائل القرن العاشر الهجري[٦] وقد اختص السلطان الغوري وأمرائه ببناء المآذن ذات الرأسين[٧].

ولعل أهم المآذن ذات الرؤوس المزدوجة التي ظهرت خارج مدينة القاهرة مئذنة جامع الغمري بميت غمر إلا أنـها سقطت عام ١٩٦٣م وهي قائمة الآن بدون رؤوس وكذلك مئذنة مسجد الغمري بمدينة المنيا ذات الرأسين وإذا تتبعنا دراسة المآذن المتعددة الرؤوس نجد أن اقدم أمثلة القرن التاسع الهجري مئذنة جامع جنبلاط المجاور لباب النصـر شمال مدينة القاهرة وكانت مزدوجة الرؤوس إلا أنها هدمت عام (١١٢١هـ / ١٧٩٩م) ويأتي بعـد ذلـك مئذنتـا مدرستا قانيباي الرماح بالقلعة (٩٠٨هـ ) صورة رقم (٢) وبالناصرية بالسيدة زينب (٩١١هـ) لوحة رقـم (١٤) وقد سقطت مئذنته بالقلعة ذات الرأسين وأعيد بنائها طبقا للأصل الأثرى عام (١٢٧٨هـ / ١٨٧٠م) أما مدرسته

(١) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، طبعة أولى ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣

(٢) حسني نويصر : مرجع سابق ، ١٩٩٦م ، ص ٢٤٧ – ص٢٤٨

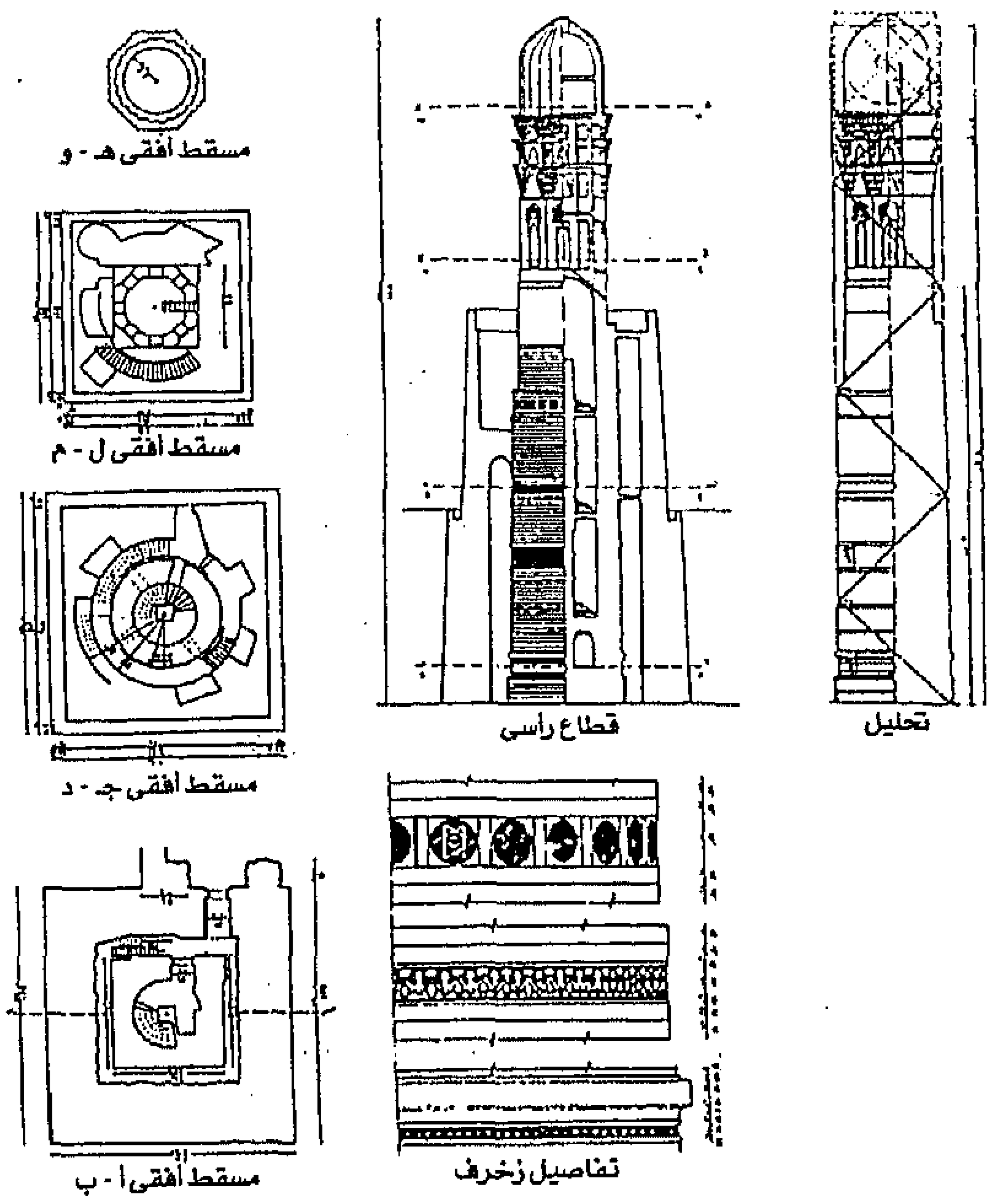
(٣) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠، ص ٤٤٩- ص٤٥٠

(٤) صالح لمعي مصطفي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣

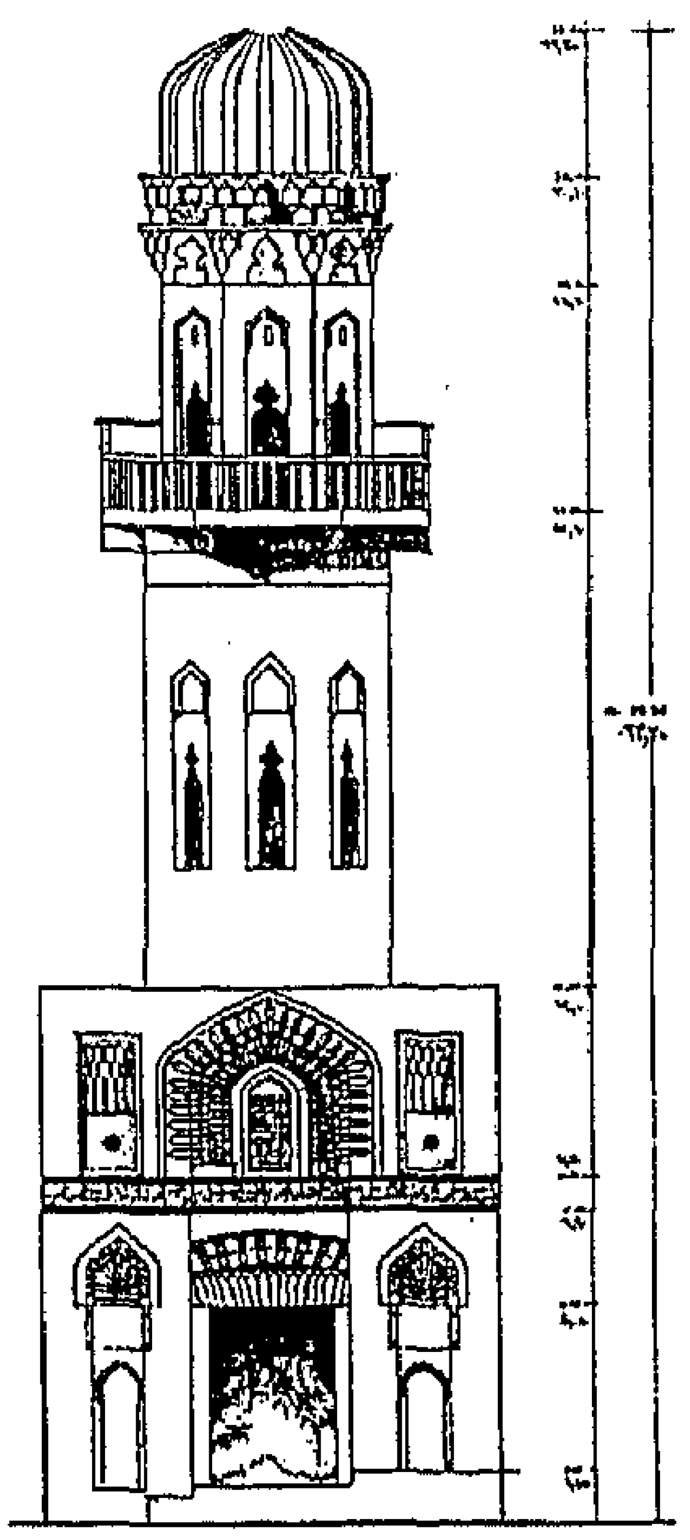
(٥) سعاد ماهر : مساجد مصر وأولياؤها الصالحون ، الجزء الرابع ،وزارة الأوقاف ، المجلس الأعلى للشئون الإسـلامية ، ١٩٨٠م ، ص٢٠- ص٢١

(٦) عفيف البهنسي : العمارة عبر التاريخ ، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، سوريا ، ١٩٨٧م ، ص ١٦٨

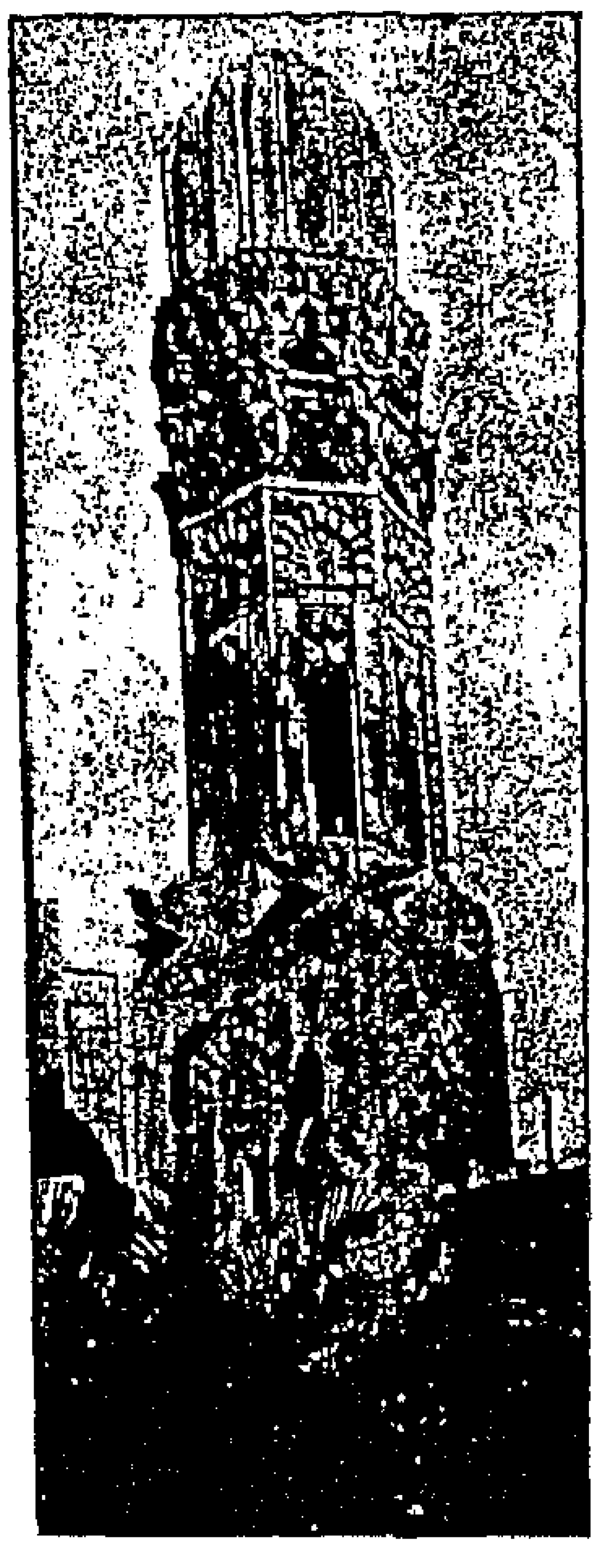
(٧) حسني نويصر : مرجع سابق ، ١٩٩٦م ، ص ٢٤٩




لوحة رقم (١٩)



شكل رقم ( ٧ )

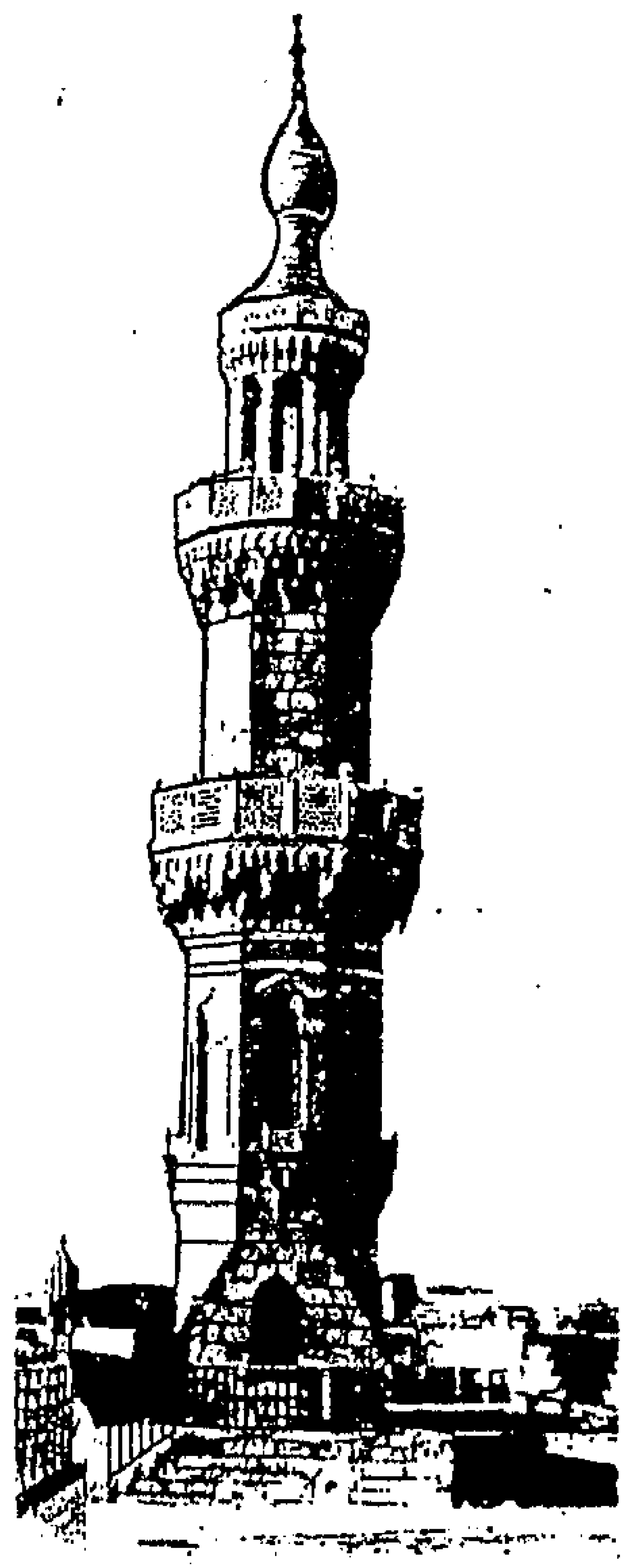


لوحة رقم ( ٢٠ )

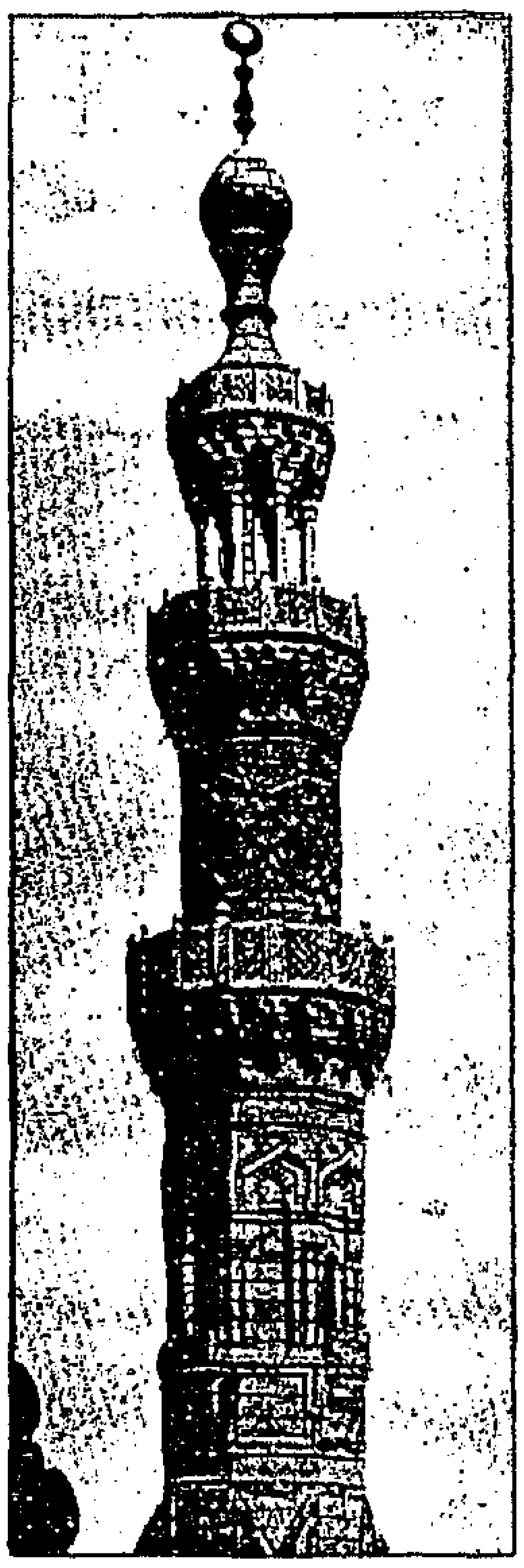
لوحة رقم ( ١٩ ) توضح تفاصيل من مئذنة جامع الحاكم بأمر الله ( عن يحيي وزيري )

شكل رقم ( ٧ ) توضح مئذنة المدرسة الصالحية ( عن يحيي وزيري )

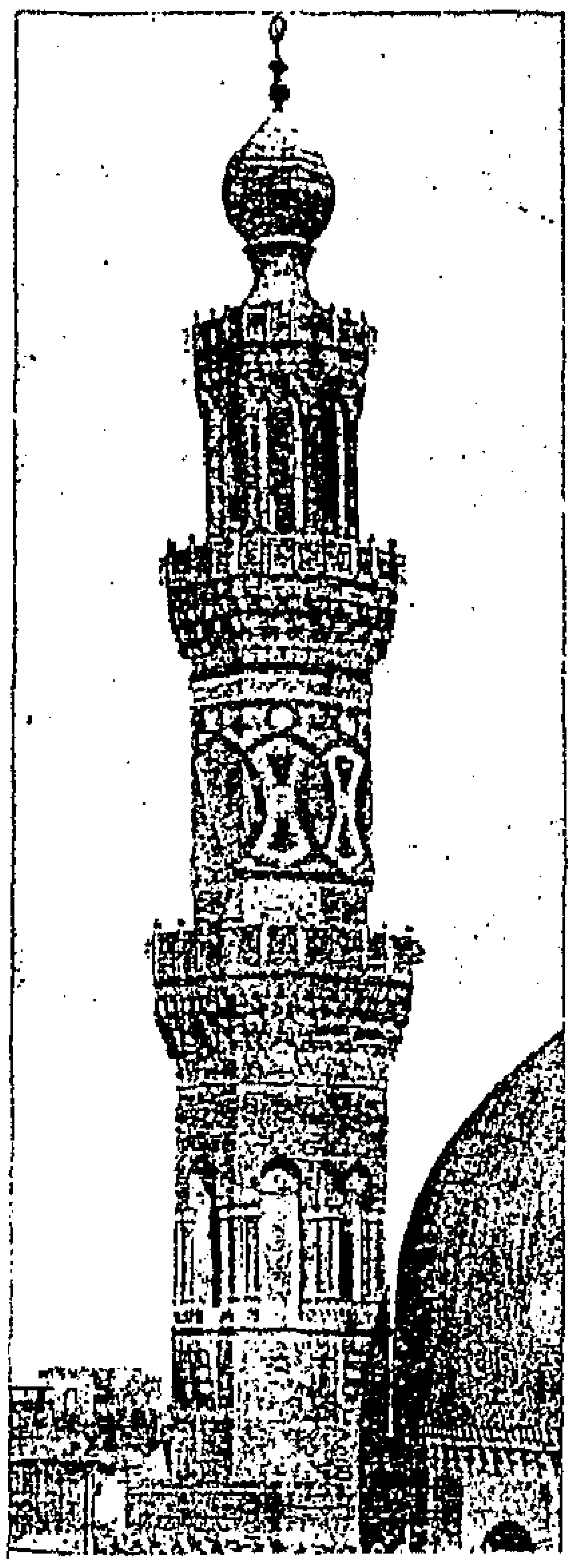
لوحة رقم ( ٢٠ ) توضح مئذنة زاوية الهنود (عن السيد عبد العزيز سالم)



لوحة رقم (٢١)



شكل رقم ( ٢٢ )



لوحة رقم ( ٢٣ )

لوحة رقم ( ٢١ ) توضح مئذنة جامع الطنبغا الماردانى ( عن سعاد ماهر ، مساجد مصر ، ج ٣ )

لوحة رقم ( ٢٢ ) توضح مئذنة جامع قايتباى بالصحراء (عن السيد عبد العزيز سالم)

لوحة رقم ( ٢٣ ) توضح مئذنة مدرسة برقوق بالنحاسين (عن السيد عبد العزيز سالم)

بحي الناصرية ذات الرأسين أيضا فقد سقطت مؤخرا ويتم إعادة بنائها الآن[١] ، ثم تأتى بعد ذلك مئذنة مدرسة الغوري بالغورية بمنطقة الأزهر (٩٠٩هـ - ٩١٠هـ / ١٥٠٤م - ١٥٠٥م)[٢] لوحة رقم (١٥) وهي تعتبر أول مئذنة بنيت في مصر وتحتوي علي أربعة رؤوس وفي عام ٩١١هـ حدث خلل وميل بهذه المئذنة وشروخ آلت إلى السقوط فهدمت وتم بناؤها وأبدلت الرؤوس الأربعة التي سببت الخلل برأسين وقد جددت لجنة حفظ الآثار العربية مئذنة الغوري وأعادت بناء القمة وجعلتها خمسة رؤوس بعد أن كانت رأسين[٣] ثم يأتي بعد ذلك مئذنة الغوري بالجامع الأزهر (٩١٥هـ / ١٥١٠م) ذات الرأسين وتمتاز بوجود سلمان حلزونيان[٤]. لوحة رقم (١٥)

## ٦- المآذن في العصر العثماني (٩٢٣هـ / ١٥١٧م)

## Minarets in the Ottoman Period

أخذت التأثيرات العثمانية تظهر في بعض المآذن المملوكية منذ نهاية القرن الرابع عشر وذلك بعد الفتح العثماني لمصر عام (٩٢٣هـ / ١٥١٧م) وتحول مصر إلى إمارة عثمانية ومن أمثلة ذلك مئذنة جامع الكردي (١٣٩٥م) صورة رقم (٤) وقد حاول الأتراك في البداية فرض الأسلوب التركي في عمائرهم بمصر إلا أن الطراز المصري تغلب علي هذا الأسلوب ومثال ذلك مسجد المحمودية وأنشأه محمود باشا أحد ولاة مصر من قبل الدولة العثمانية عام (٩٧٣هـ - ٩٧٥هـ / ١٥٦٦م - ١٥٦٨م) لوحة رقم (٢٤)، حيث تأثرت هذه المئذنة بمئذنة مسجد البرديني (١٦١٦م) لوحة رقم (٢٥) ، والذي تأثر مهندسه بعمائر العصر المملوكي الجركسي[٥] وبعد ذلك ازداد ارتفاع المئذنة في هذا العصر وفقا للنظام العثماني واتسمت بالنوع المتعدد الأضلاع الذي يقترب من الأسطواني تعلوه قمة مخروطيه مدببة[٦] بحيث تتخذ المئذنة شكل القلم الرصاص Pencil Point[٧] وتحيط بهذا البدن الرشيق شرفتان أو ثلاثة قليلة البروز[٨] وغالبا ما تكون لها شرفة واحدة استعيض فيها عن البرامق الحجرية بحواجز من الخشب[٩] وقد ظهر هذا النوع في البداية في مئذنة جامع سليمان باشا (١٥٢٨م - ١٥٢٩م) لوحة رقم (١٣) ومئذنة مسجد شاهين (١٥٣٨م) ثم ظهرت مئذنة جامع سنان باشا (١٥٩١م) ومئذنة مسجد الملكة صفية (١٦١٠م) لوحة رقم (١٢) ومئذنة مسجد عثمان كتخدا (١٧٣٤م) ومئذنة مسجد محمود محرم (١٧٩٢م) ومئذنة مسجد المحمودية (١٥٦٨ م) لوحة رقم (٢٤) وتعد مئذنة مسجد محمد بك أبو الذهب (١٧٠٣م) صورة رقم (٥) استثناء من هذه القاعدة حيث تنتمي للنوع السوري المربع وتنتهي بقمة ذات خمسة رؤوس[١٠] وبعد عام ١٨٠٥م ظهرت في عهد محمد علي ومن بعده مآذن تركية الطراز حيث قل قطر بدنها وزاد ارتفاعها بحيث أصبحت في مجموعها رفيعة ومدببة تشبه القلم الرصاص المدبب كما سبق الذكر وأجمل أشكال هذه المآذن مئذنتا جامع محمد علي بالقلعة بالقاهرة (١٨٢٤م -

---

(١) سعاد ماهر : مرجع سابق ، الجزء الرابع ، ١٩٨٠م ، ص ٢١

(٢) منظمة العواصم والمدن الإسلامية : مرجع سابق ، ١٩٩٠م ، ص ٤٥٠

(٣) سعاد ماهر : مرجع سابق ، ١٩٨٠م ، ص ٢١

(٤) صالح لمعي :مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣

(٥) محمود أحمد : دليل موجز لأهم الآثار العربية بالقاهرة ، ١٩٨٤م ، ص ١٨٨

(6) Sameh, K. : Evolution Of Minarets In Egypt, 1974 , P 174

(٧) توفيق أحمد عبد الجواد : العمارة الإسلامية فكر وحضارة ، مكتبة الانجلو المصرية ، ١٩٨٧م ، ص ١٠٣

(8) Sameh , K . : Op. Cit. , 1974 , P. 174

(٩) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٧٠م ، ص ٩٣

(١٠) سعاد ماهر : مرجع سابق ، ١٩٨٠م ، ص ٢٢

١٨٥٧م) صورة رقم(٦) وتتكون كل منها من ثلاث مناطق متعددة الأضلاع تفصلها عن بعضها شرفتان محمولتان علي صفوف من المقرنصات وتنتهي كل منهما من أعلاها بقمة مخروطية مدببة وقد أخذت طرازها المعماري من المآذن التركية الموجودة بمدينة القسطنطينية[١].

## سابعاً : التأثيرات الفنية الوافدة على المآذن الأثرية فى مصر

أخذت التأثيرات الفنية الوافدة تتغلغل شيئاً فشيئاً فى نظام المئذنة فى مصر إبان القرنين الثالث عشر والرابع عشر، ويمكننا أن نميز بعض التأثيرات الأندلسية والسورية والمغولية ، وهناك تأثيرات شرقية وتأثيرات غربية .

### ١-تأثيرات شرقية

نتجت عن هروب الصناع والعمال المهرة والفنانين من بلاد العراق شرقاً بعد الغزو المغولى إلى مصر ونقل جميع التأثيرات الفنية سواء فى مجال العمارة أو الفنون التطبيقية .

### ٢-تأثيرات غربية

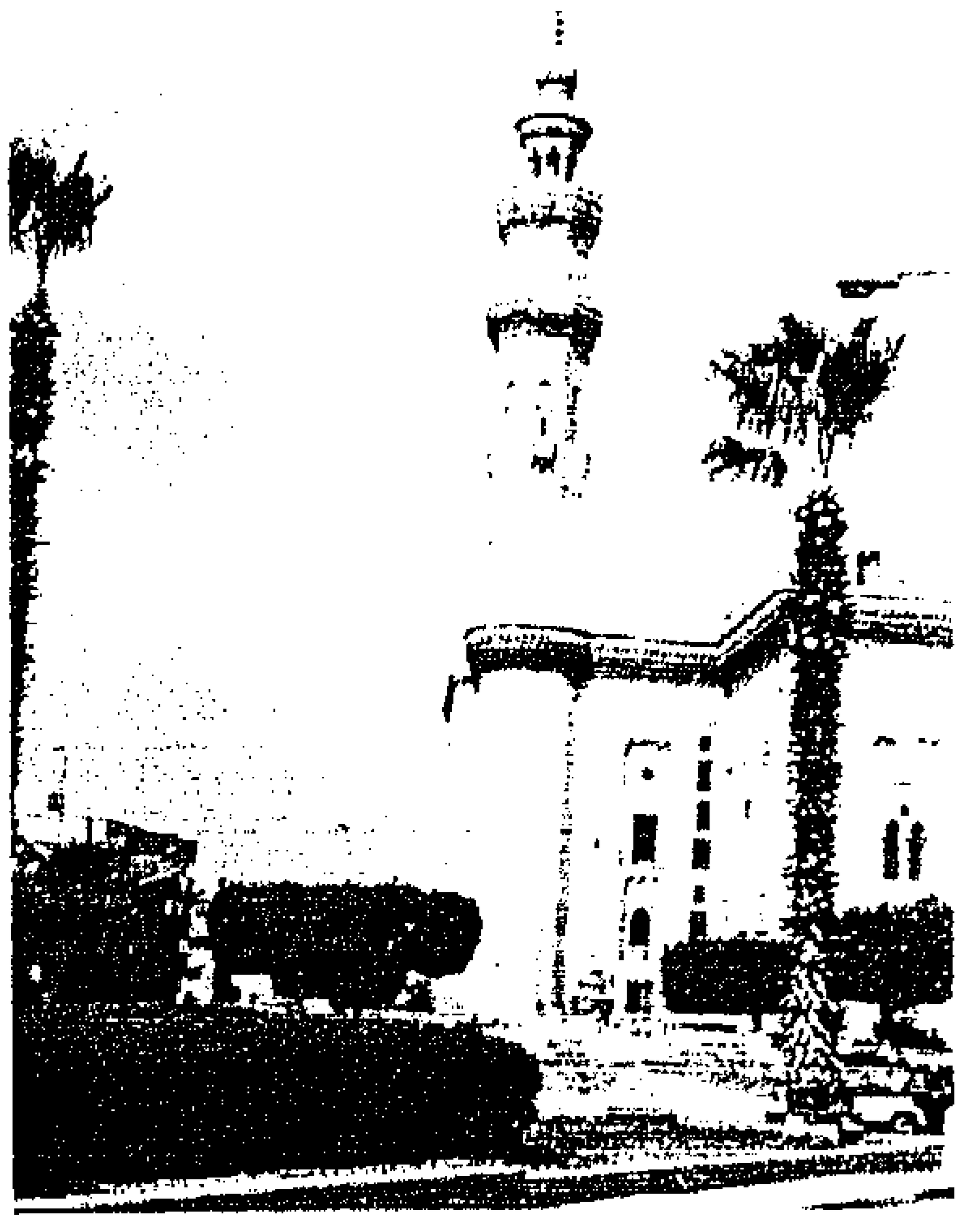
نتجت بعد ضعف المسلمين فى بلاد الاندلس حيث حاولت الممالك المسيحية التى كانت محيطة بالمسلمين فى بلاد الاندلس استرجاع أراضيها منهم فقاموا باضطهاد المسلمين واقتطاع املاكهم مما أدى إلى هروب الفنانين والعلماء والصناع إلى منطقة شمال أفريقيا ومنها إلى مصر ومعهم التأثيرات الفنية المختلفة .

ويعتبر عصر المماليك العصر الذى تسربت فيه التأثيرات الفنية الأندلسية إلى مصر ، ذلك لأنه العصر الذى توثقت فيه عرى الصداقة بين مصر وأسبانيا ، فما كادت تسقط بغداد عام ١٢٥٨م فى أيدى المغول حتى تألفت فى القاهرة جبهة قوية لدفع خطر المغول المدمر، واستطاع الملك المظفر سيف الدين قطز أن يهزمهم هزيمة منكرة فى موقعة عين جالوت فى (٢٥ من رمضان سنة ٦٥٨هـ / ٣ سبتمبر سنة ١٢٦٠م) [٢] ، وكان لهذه العلاقات أثرها الكبير فى نفاذ التأثيرات الأندلسية فى العمارة الأندلسية فى عصر دولة المماليك ، ونشهد فى مئذنة مدرسة المنصور قلاوون لوحة رقم (٢٦) بعض هذه التأثيرات ممثلة فى أعلى القاعدة المربعة إذ نرى إفريزاً من المقرنصات يشبه إفريز العقود المتشابكة الذى نراه فى مئذنة جامع أشبيلية وغيرها، بل أن الطابق الثانى يكشف بجلاء عن هذا التأثير فى إفريز العقود الثلاثية الفصوص الذى يعلوه وفى العقد الذى يتوسط هذا الطابق بأوجهه الأربعة ، كما أن الطابق الأخير يمثل شبكه من المعينات تشبه ذلك النوع من التداخلات التى ظهرت فى واجهة بهو قصر إشبيلية ونرى هذه التأثيرات الأندلسية فى تفاصيل الزخرفة الجصية بمئذنة مدرسة الناصر محمد بن قلاوون بالنحاسين وعقود مئذنة مسجد سلار و سنجر الجاولى، وتناوب الألوان بمئذنتى المنصور قلاوون لوحة رقم (٢٦) وسلار وسنجر الجاولى لوحة رقم (١) وشكل رقم (٤) له أصل مغربى أندلسى إذ نشهده فى جامع الزيتونة بتونس ( ٢٥٠هـ /٨٦٤ م) وجامع قرطبة ومسجد الباب المردوم بطليطلة وقد انتقلت فكرة تناوب الألوان فى البناء إلى العمارة المسيحية بفرنسا

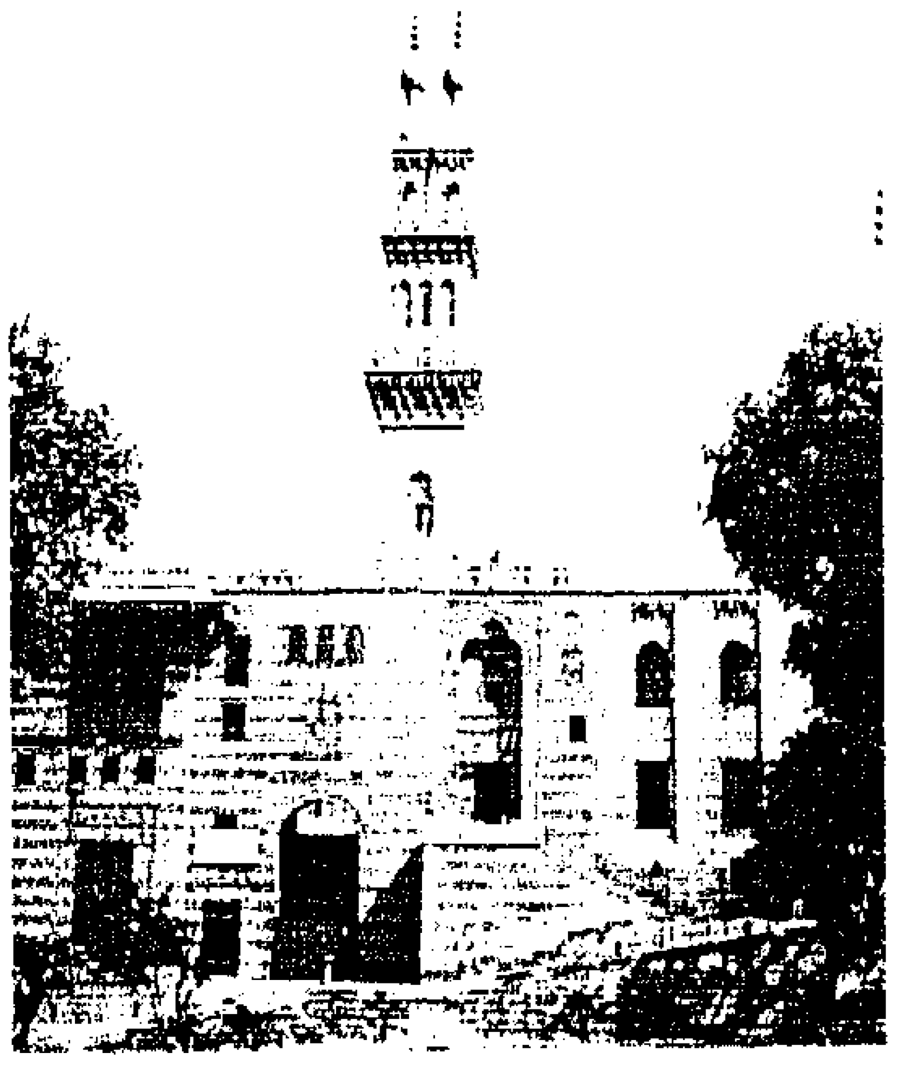
---

(١) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٧٠م ، ص ٩٣

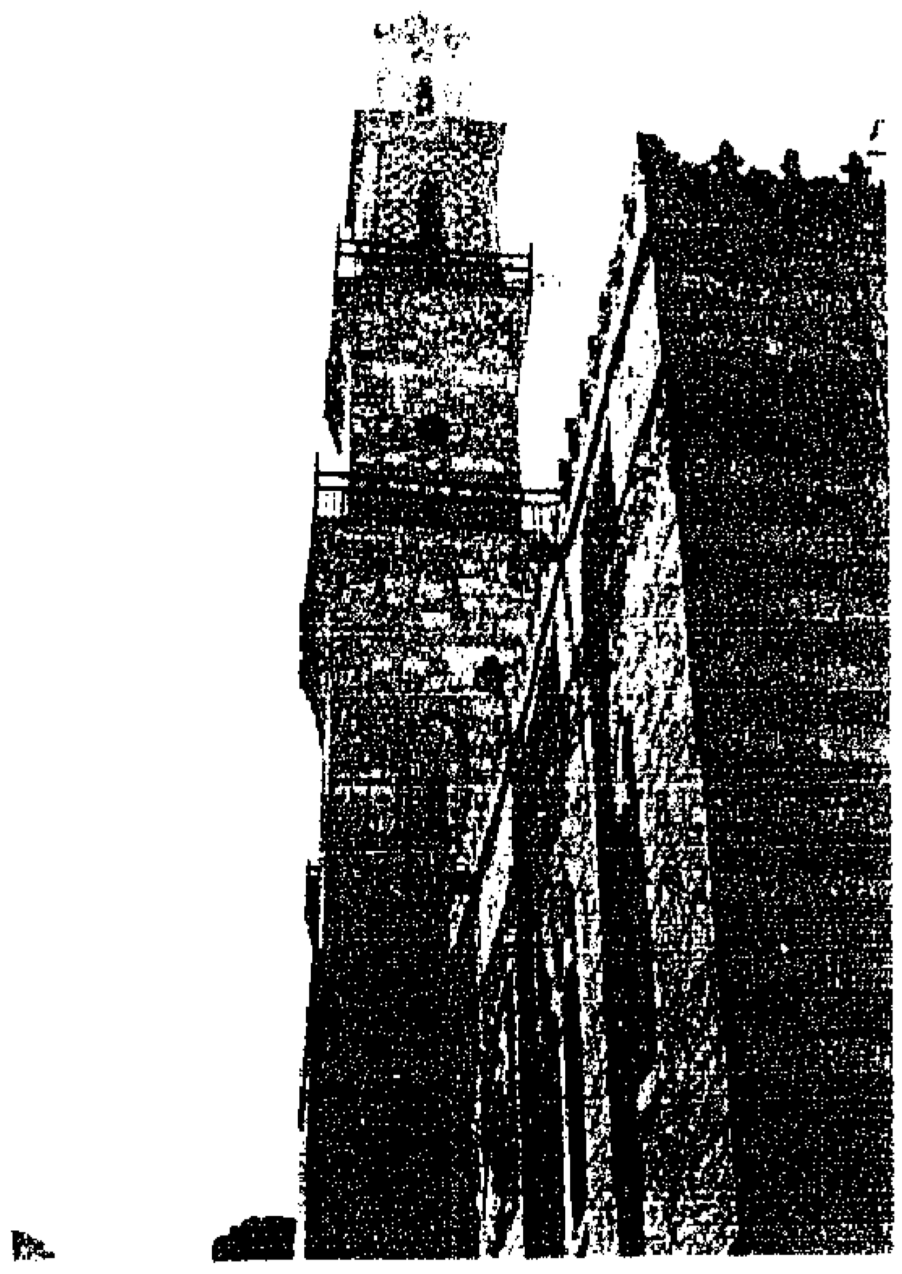
(٢) السيد عبد العزيز سالم : بعض التأثيرات الأندلسية فى العمارة المصرية الإسلامية ، المجلة ، العدد الثانى عشر ، ديسمبر ١٩٥٧ ، ص٨٩ .



صورة رقم ( ١ )



صورة رقم ( ٢ )

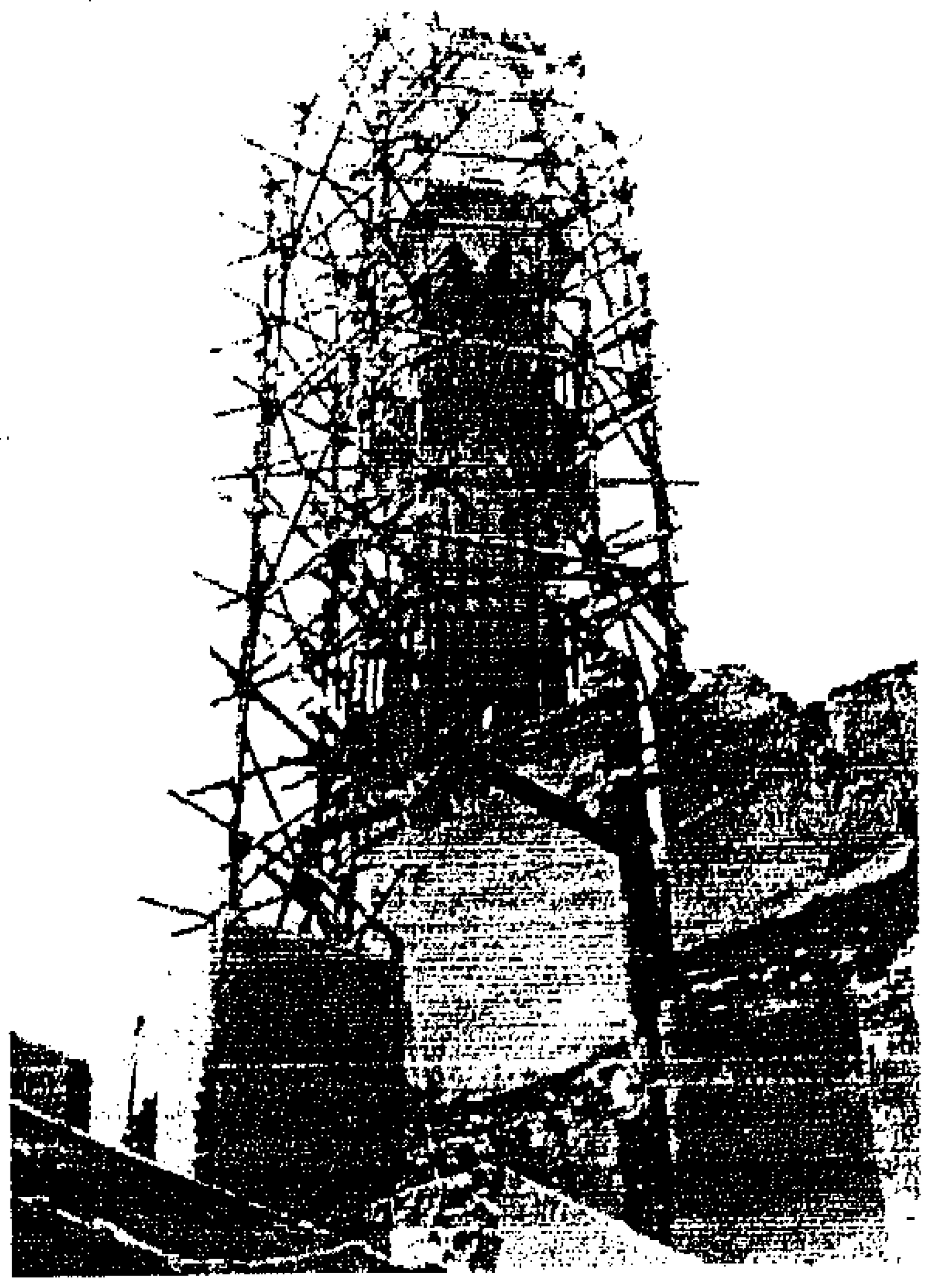


صورة رقم ( ٢ )

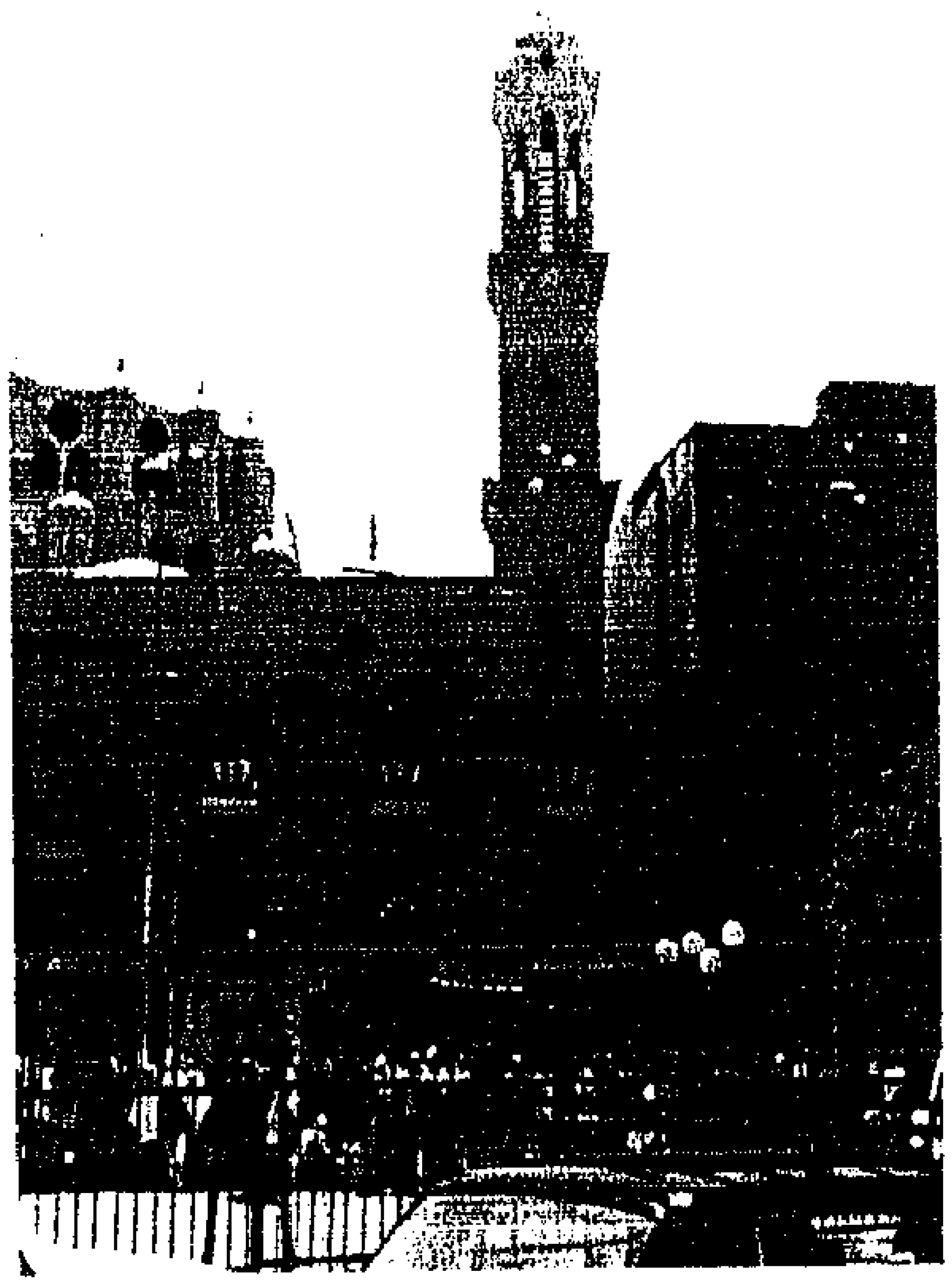
صورة رقم ( ١ ) توضح مئذنة مدرسة السلطان حسن ( تصوير الباحث )

صورة رقم ( ٢ ) توضح مئذنة مدرسة قانيباى الرماح ذات الرأسين بالقلعة ( تصوير الباحث )

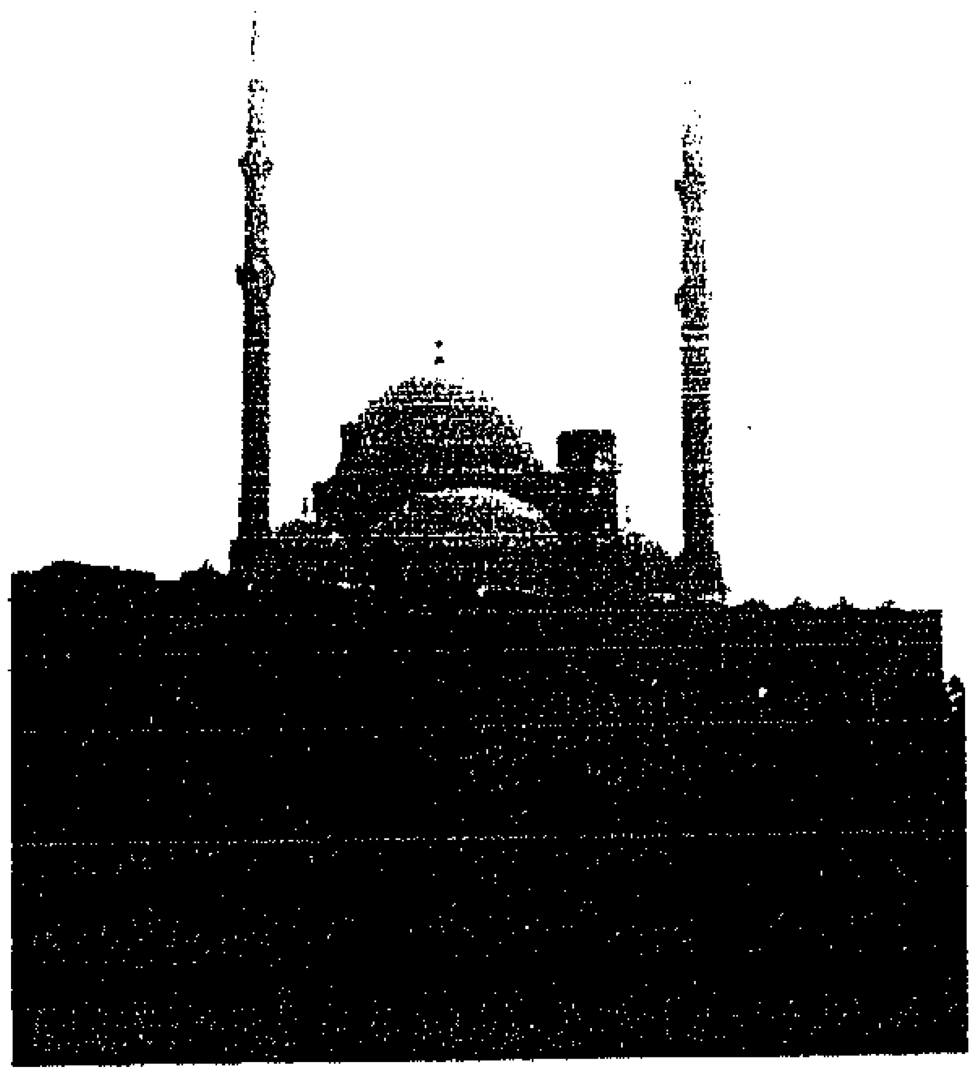
صورة رقم ( ٣ ) توضح مئذنة جامع الغورى بالغورية ( تصوير الباحث )



صورة رقم ( ٤ )



صورة رقم ( ٥ )

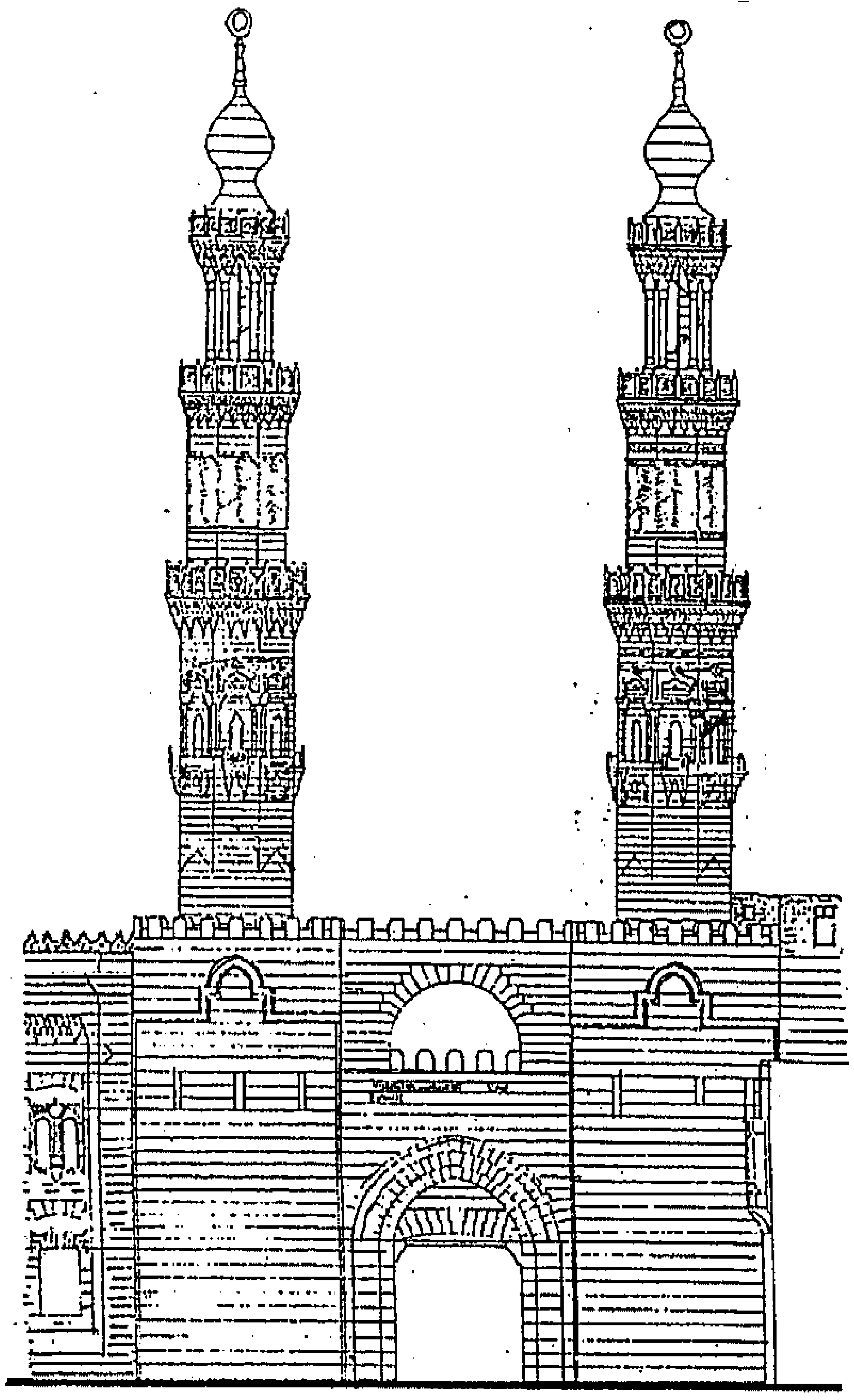


صورة رقم ( ٦ )

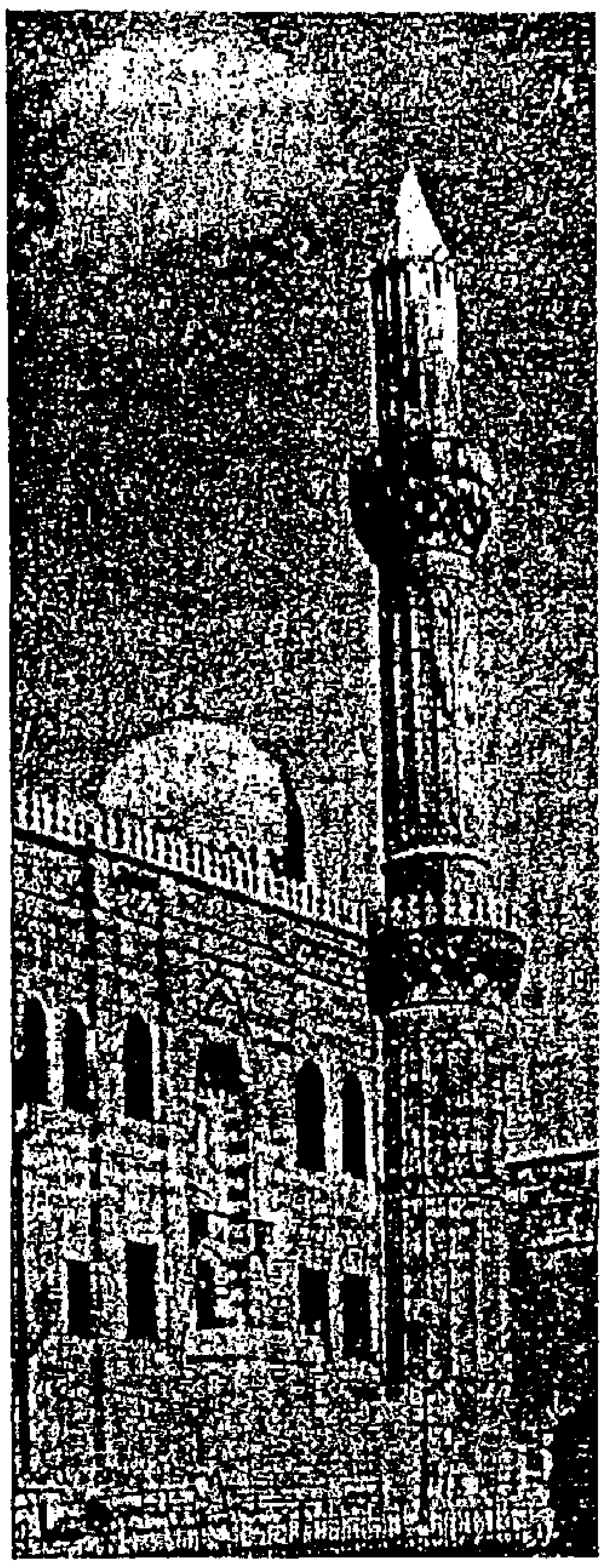
صورة رقم ( ٤ ) توضح مئذنة جامع الكردى ( تصوير الباحث )

صورة رقم ( ٥ ) توضح مئذنة جامع محمد بك أبو الذهب ( تصوير الباحث )

صورة رقم ( ٦ ) توضح مئذنتا جامع محمد على بالقلعة ( تصوير الباحث )



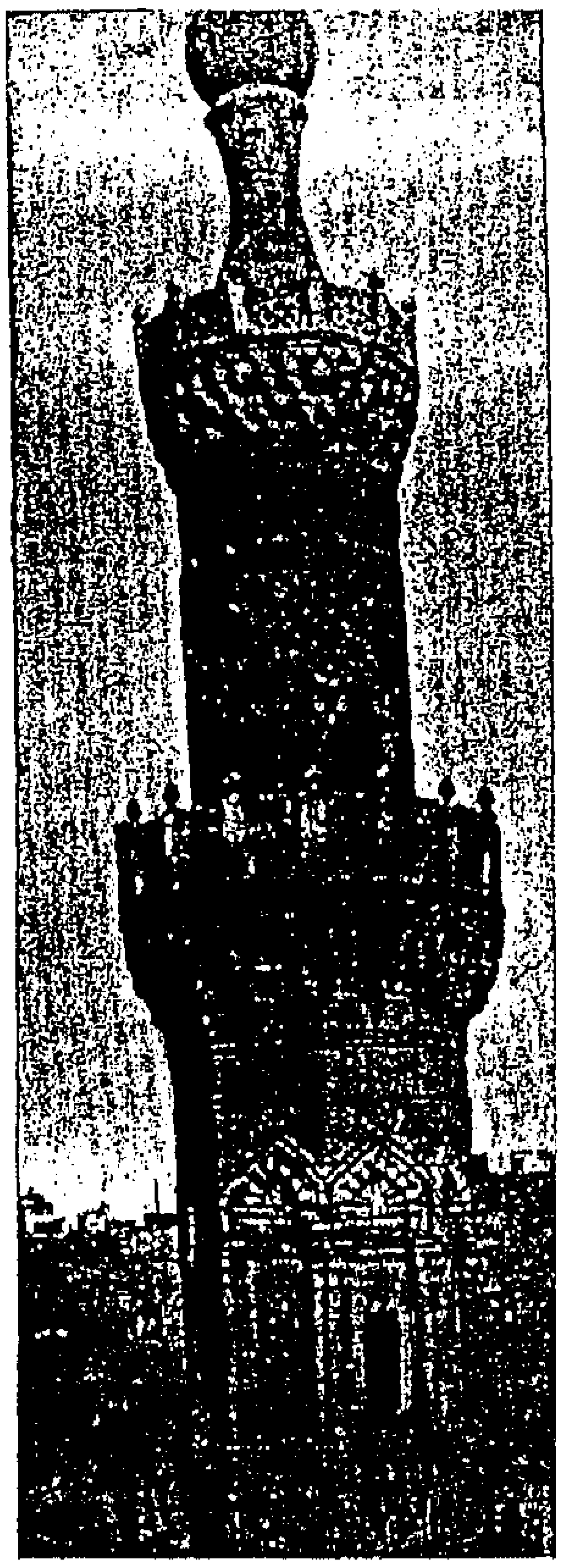
شكل رقم (٨)



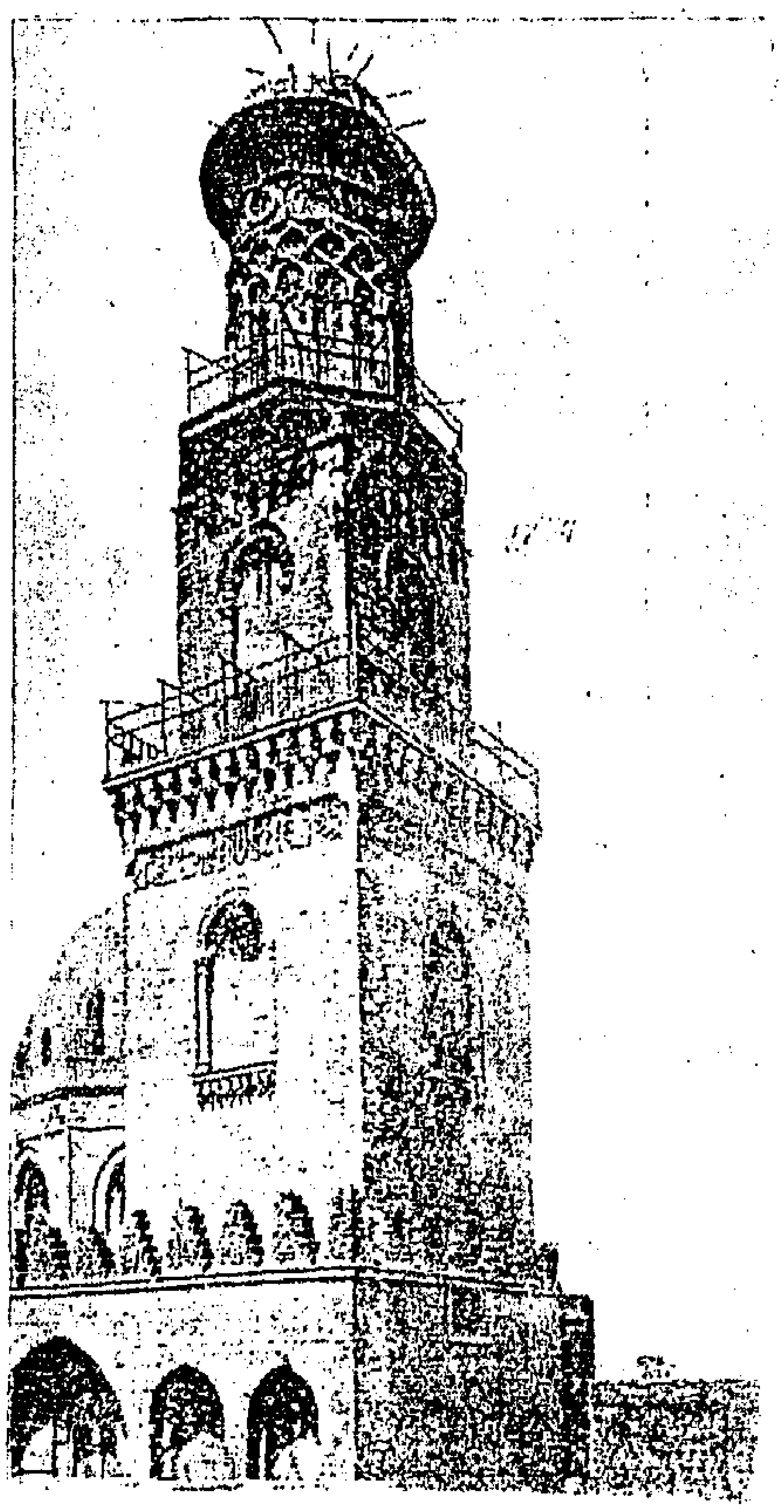
لوحة رقم ( ٢٤)

شكل رقم ( ٨) يوضح مئذنتا جامع المؤيد شيخ ( عن يحيي وزيري )

لوحة رقم ( ٢٤) توضح مئذنة جامع المحمودية (عن السيد عبد العزيز سالم)



لوحة رقم (٢٥)



لوحة رقم ( ٢٦)

لوحة رقم ( ٢٥) توضح مئذنة مسجد البرديني (عن السيد عبد العزيز سالم)

لوحة رقم ( ٢٦) توضح مئذنة مدرسة المنصور قلاوون (عن السيد عبد العزيز سالم)

فنراها مطبقة فى عقود الفناء وواجهة كاتدرائية نو تردام دى بوى وفى مقصورة سان ميشيل داجويل وفى واجهة كنيسة موناستيه ورويوتار وبولينياك وفى كنائس فيلاى وغير ذلك [١].

أما التقاليد السورية فقد عادت تؤثر فى نظام المساجد وتتجلى هذه التأثيرات السورية فى مئذنة فاطمة خاتون ١٢٨٤م لوحة رقم (٢٧) التى لم يبق منها سوى قاعدتها المربعة ، فنجد أن أسلوب بناء هذه القاعدة من الحجر ونوافذها ذات الثلاثة فتحات تحيطها عقود منكسرة ثم إفريزها البارز ، كل ذلك يشف بجلاء عن أصلها السورى . وكذلك تمثل القاعدة المربعة بمئذنة مدرسة المنصور قلاوون لوحة رقم (٢٦) رغم ما فيها من تأثيرات زخرفية أندلسية هذا التأثير السورى الذى نراه فى مئذنة فاطمة خاتون ، إلا أن الملك الناصر محمد أضاف إليها الطابق الأسطوانى العلوى بعد زلزال عام (١٣٠٣ م) ، وقد أثرت قاعدة هذه المئذنة فى بناء مئذنة مسجد سلار و سنجر الجاولى لوحة رقم (١) [٢].
ونجد أن التأثيرات المغولية ظهرت فى مئذنتى جامع الناصر محمد بن قلاوون بالقلعة اللتان لا يمكن اعتبارهما سوى استثناء فى هذه الفترة من الزمن لوحة رقم (٢٨) ، فإن إحدى هاتين المئذنتين ترتقى فوق قاعدة مربعة محلاة بطاقات ومقرنصات مثلثة لا تختلف عن مقرنصات مئذنة مدرسة المنصور قلاوون ثم يعلوها طابق مستدير بأعلاه شرفه مستديرة قائمة على مقرنصات ويقوم فوق هذه الشرفة طابق مثمن الأضلاع ينتهى من أعلاه برقبة أسطوانية قصيرة تضيق كلما ارتفعت وتتوجها خوذه ذات تضليعات و تشبه العمامة كانت مكسوة بزخرفة خزفية خضراء ، ويرتفع فوق قاعدة المئذنة الأخرى طابق أسطوانى مزين بدالات رأسية عبارة عن ضلوع مموجة فى انكسار ويعلو هذا الطابق قطاع مخروطى محلى بزخارف أفقية ثم يتوجه عنق أسطوانى كذلك ينتهى بزخارف خزفية خضراء ، واستخدام هذه الدالات المضلعة كان شائعاً فى قونية كما أن نظام القطاعات المخروطية كان أمر مألوفا فى إيران وانتشر انتشاراً بعيد المدى إذ أدرك بلاد الهند فى طليعة القرن الرابع عشر ويمثله منار مسجد قوة الإسلام بمدينة دلهى ، بناه قطب الدين أيبك تخليدا لذكرى استيلائه على دلهى سنة ٥٨٩م وقد اتمه خليفته التتمش من سلاطين الهند[٣] شكل رقم (٩).

## ثامناً : زخرفة المآذن الأثرية

## Decoration of the Archaeological Minarets

لقد استخدمت عناصر زخرفية متعددة للمآذن الأثرية منها الزخارف ذات الأشكال الدالية وزخرفة الجفت المضفور وكذلك وحدة المعين ووحدة السهم والوردة الثمانية والأعمدة المندمجة والجفت اللاعب ذو الميمات إلى جانب الميمات[٤] ونجد كذلك الزخرفة باستعمال الأحجار الملونة أو باستخدام حليات هندسية لزخرفة الجزء الأوسط من المئذنة خلال العصر المملوكي البحري كما استخدم في بعض المآذن الزخرفة بكورنيش يشبه كورنيش العمارة الفرعونية وذلك بدلا من حطات المقرنصات مثل مئذنة مدرسة المنصورقلاوون (٦٨٣هـ-٦٨٤هـ/١٢٨٤م – ١٢٨٥م) صورة رقم (١٢) ومئذنة مسجد منجك اليوسفي (٧٥٠هـ/١٣٤٩م) ومئذنة شيخو (٧٥٠هـ /١٣٤٩م)[٥]

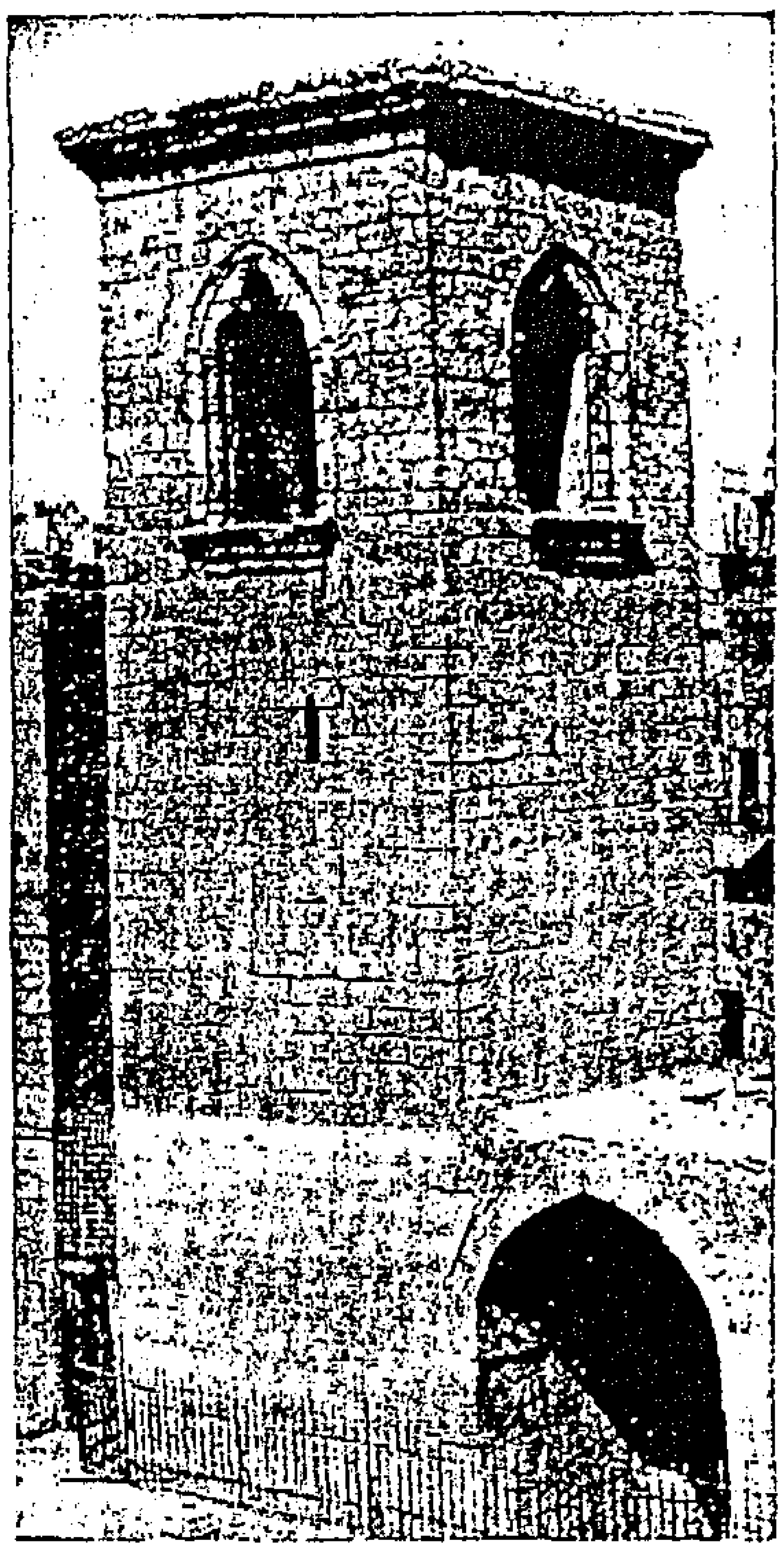
(١) السيد عبد العزيز سالم : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن أصلها وتطورها منذ الفتح العربى حتى الفتح العثمانى ، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص٢٩-٣٠ .

(٢)السيد عبد العزيز سالم : المرجع نفسه ، القاهرة ، ١٩٥٩ ، ص٣١ .

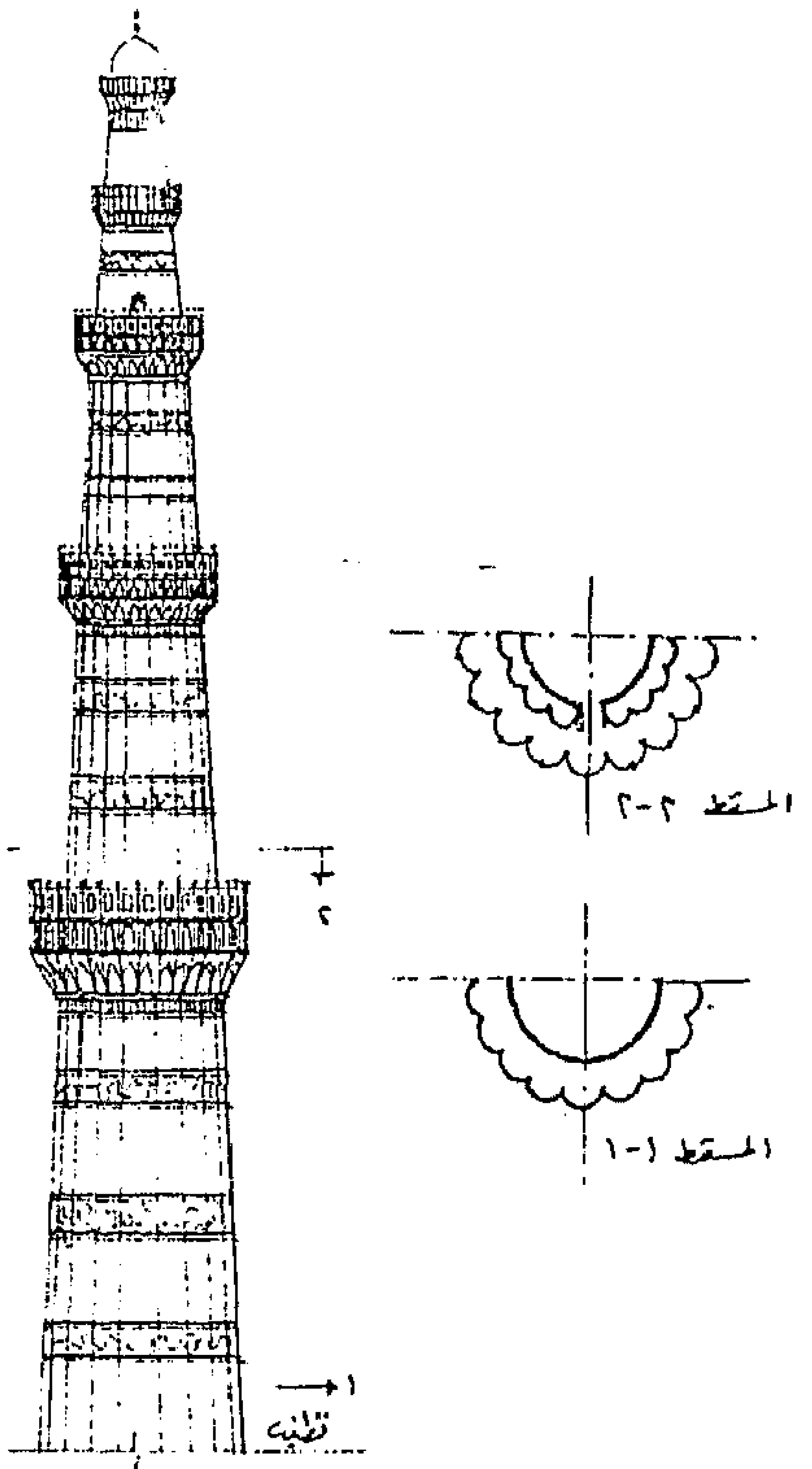
(٣) زكى محمد حسن : تطور المآذن ، مجلة الكتاب ، سبتمبر ١٩٤٦ ، ص٧٢٨ .

(٤) عبد الله كامل موسى : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص ٦١٠ – ٦٢٤

(٥) صالح لمعي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٢



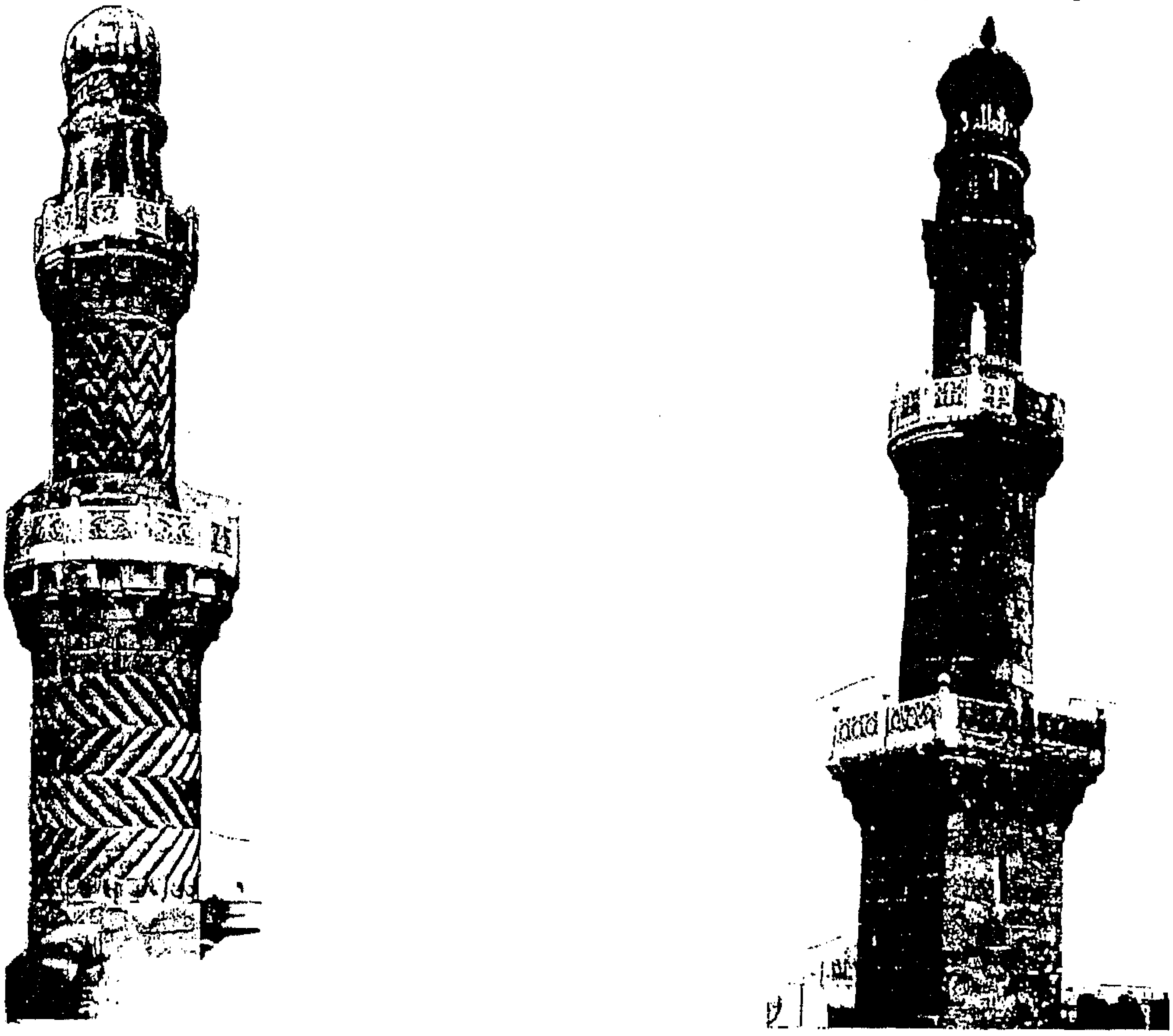
لوحة رقم (٢٧)




شكل رقم ( ٩)

لوحة رقم ( ٢٧) توضح مئذنة ضريح فاطمة خاتون (عن السيد عبد العزيز سالم)

شكل رقم ( ٩) يوضح مئذنة جامع قطب الدين بدلهى ( عن عبد السلام نظيف )



لوحة رقم (٢٨)

توضح مئذنتا جامع الناصر محمد بالقلعة (عن سعاد ماهر ، مساجد مصر ، ج ٣)

لوحة رقم (١١) ، وتميز العصر المملوكي البحري كذلك بوجود زخرفة من بلاطات القاشاني[١] وكان ذلك علي بعض أجزاء من جسم المئذنة وقمتها[٢] ومن أمثلة ذلك مئذنتا جامع الناصر محمد بن قلاوون بالقلعة لوحة رقم(٢٨) كما استخدمت في مئذنتا جامع المؤيد شيخ شكل رقم (٨) حيث استخدمت بلاطات القاشاني في واجهات الطابق المثمن وذلك في زخرفة الخطوط المنكسرة[٣] أما خلال العصر المملوكي الجركسي فكثيرا ما كان يزخرف بدن المئذنة في كل المستويات بشرائط من الكتابات بالخط الثلث المملوكي ، تحوي هذه الكتابات آيات قرانية تحث المسلمين للتبكير بحضور الصلاة وفي كثير من الأحيان يزخرف الجزء المشكل علي هيئة القلة (بقمة المئذنة) بزخارف نباتية (أرابيسك) أو يغرس في هذه القمة عصي يتدلي منها المشكاوات التي تضاء في الأعياد الدينية وقد تميز العصر المملوكي الجركسي بوجود تلابيس من الرخام المنزل بالمعجون علي الأسطح الخارجية لبدن المئذنة[٤] وكان أول مثال لها في مئذنة مدرسة السلطان برقوق (٧٨٦هـ- ٧٨٨هـ/ ١٣٨٤م - ١٣٨٦م) بالنحاسين[٥] ومئذنة مدرسة القاضي يحي زين الدين بالأزهر حيث زخرفت المنطقة العليا للمئذنة (١٤٤٨م) بقطع من الرخام وقوام الزخرفة عبارة عن زخارف نباتية داخل مناطق علي شكل المعين[٦] وكذلك من الأمثلة الأخرى مئذنة السلطان الغوري بالجامع الأزهر الشريف[٧] لوحة رقم (١٥) .

---

(١) عفيف البهنسي : العمارة عبر التاريخ ، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، سوريا ، ١٩٨٧م ، ص ١٦٨

(٢) حسني نويصر : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص٢٤٨

(٣) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١ م ، ص ٢٠٤

(٤) حسني نويصر : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص٢٤٨

(٥) صالح لمعي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣

(٦) كمال الدين سامح : مرجع سابق ، ١٩٩١م ، ص ٢٠٤س

(٧) حسني نويصر : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك) ، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م ، ص٢٤٨

# الفصل الثانى
# دراسة جيولوجية مدينة القاهرة و مواد بناء المآذن الأثرية

تتبع جيولوجية مدينة القاهرة التكوينات الصخرية لجبل المقطم ، ونظراً لأن مئذنة يشبك من مهدى تقع فى منطقة جنوب غرب مسجد الإمام الليث ومنفصلة ومستقلة عنه وهى متصلة اتصالاً مباشراً بالتربة المقامة عليها لذا كان من الضرورى دراسة جيولوجية مدينة القاهرة وتتضمن منطقة الإمام الليث لما لذلك من أهمية فى التعرف على حالة المئذنة والوضع الراهن لها ووضع الحلول وخطة العلاج والترميم والصيانة اللازمة لها ، و يعتبر الحجر الجيري مادة البناء الأكثر استخداما لبناء المآذن الأثرية يليها الطوب المحروق (الآجر) كما استخدم الرخام لتشكيل الأعمدة التي تحمل الجوسق في بعض المآذن إلى جانب الأخشاب التي استخدمت لعمل السياج المحيط بشرفات بعض المآذن الأثرية وكذلك في بعض المآذن ذات القمة المدببة والتي كانت تغطي أحيانا بألواح من الرصاص وتنتهي بهلال من النحاس ، هذا إلى جانب المونات المستخدمة في عمليات البناء ،

## أولاً : جيولوجية مدينة القاهرة Geology Of Cairo

تقع مئذنة يشبك من مهدى موضوع الجانب التطبيقى للرسالة بمسجد الإمام الليث بمنطقة عين الصيرة ضمن نطاق القاهرة الكبرى ولذلك فهى تتبع جيولوجية مدينة القاهرة ، وتبلغ مساحة القاهرة الكبرى ٣٥٧,٥ كيلو متر مربع وتقع بين خطى عرض ٤٠/ ٢٩° ، ١٠/ ٣٠° شمالاً وخطى طول ٣١ ° ، ٤٠/ ٣١ ° شرقاً وهى تشمل محافظات القاهرة والجيزة والأجزاء الجنوبية من محافظة القليوبية وتتبع جيولوجية القاهرة التكوينات الصخرية لجبل المقطم (١) .

### ١ـ الوصف العام لجبل المقطم

### General Discription Of Gabal El- Mokattam

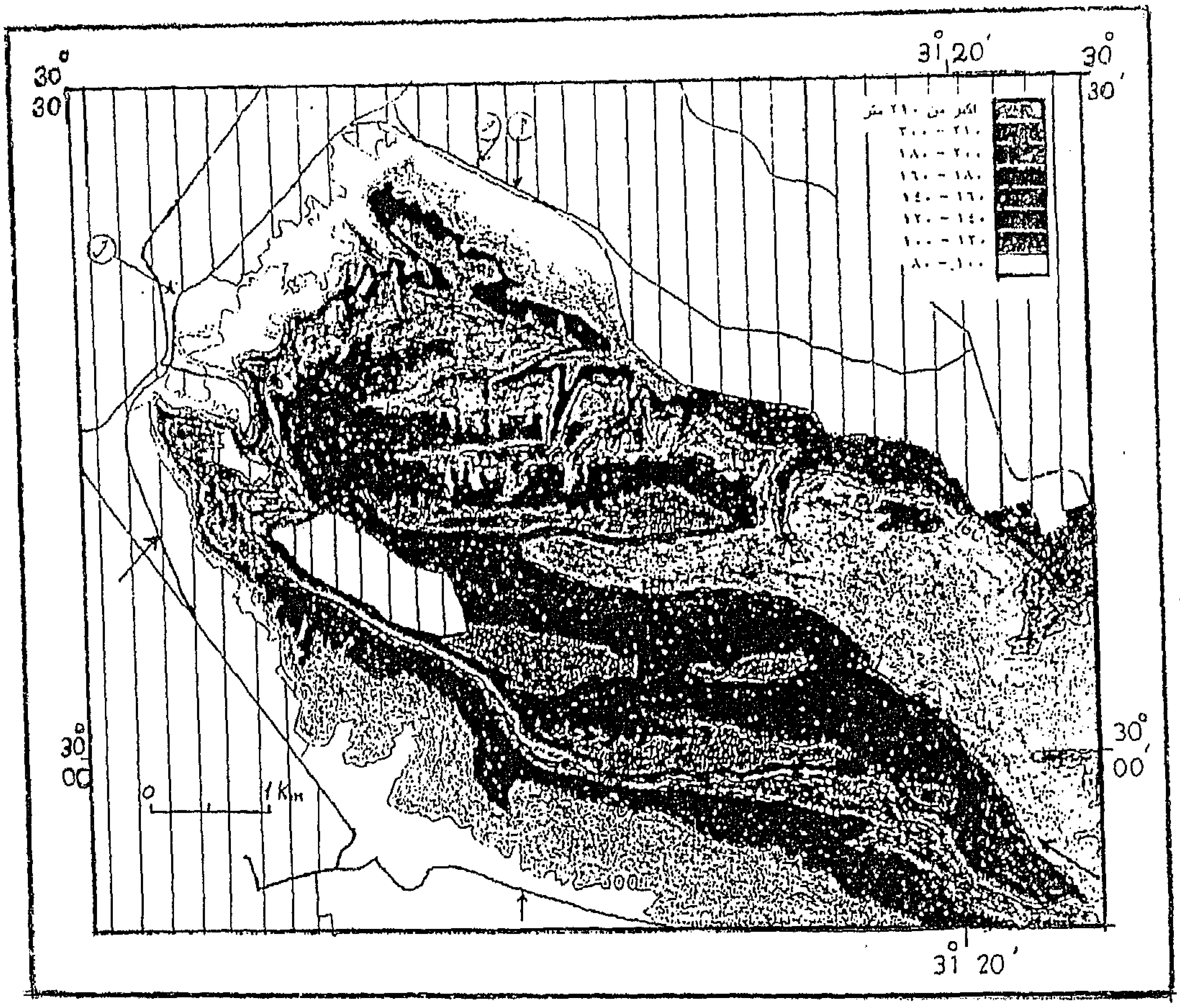
يمثل جبل المقطم مساحة صغيرة جداً تقع فى أقصى الشمال الغربى لهضبة المغره بالصحراء الشرقية والمكونه من الحجر الجيرى ، وتكون جبل المقطم نتيجة للحركات الأرضية التى أعقبت ترسيب طبقاته ، ويمتد الجبل بين منخفضين يمتدان فى الاتجاه ( شرق- غرب ) ، المنخفض الشمالى هو منخفض مدينة نصر والجنوبى منخفض دجله بالمعادى ، وشكل جبل المقطم رباعى الأضلاع ، محوره الطولى يمتد فى الاتجاه (شمال غرب – جنوب شرق ) موازياً لاتجاه الصدوع الأساسية فى شمال غرب هضبة الحجر الجيرى الشرقية، خريطة رقم (١) يصل أقصى ارتفاع لجبل المقطم إلى ٢١٥ متراً فوق سطح البحر بينما ارتفاعه فوق مدينة القاهرة يصل إلى ١٥٠ متراً ويتغير ارتفاع سطح الجبل بين ١٨٠ متراً إلى ٢١٠ متراً ويقل ارتفاع سطحه فى اتجاه الشمال الشرقى(٢) وينتشر به المنحدرات والجروف مختلفة الأرتفاعات كما يتضح من خريطة رقم(٢) ، ويتكون جبل المقطم من وحدات جيومور فولجية متعددة أهمها الهضاب ذات الأسطح المتباينة التعاريج والارتفاعات ، يفصل الهضاب بعضها عن بعض جروف شديدة الانحدار مختلفة الارتفاعات والميل ، ينقسم جبل المقطم جيومورفولوجيا وطبوغرافيا إلى الهضبة السفلى والهضبة الوسطى والهضبة العليا، شكل رقم (١٠) والجروف شديدة الميل التى تفصل الهضاب بعضها عن بعض تكونت نتيجة إزاحة الفوالق العادية حيث تتكون الهضبة السفلى من تكوين المقطم والعليا من تكوين المعادى (٣)

---

( 1) Swedan, A.H. : Anote On The Geology Of Greater Cairo Area, Annals Of The Geological Survey Of Egypt, Vol.Xvii, 1991,P. 239

(٢) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : جيولوجية ومخاطر منطقة جبل المقطم ، القاهرة ، ١٩٩٧م ، ص١٤ .

(٣) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : المرجع السابق ، ١٩٩٧م ، ص ٢٢ .

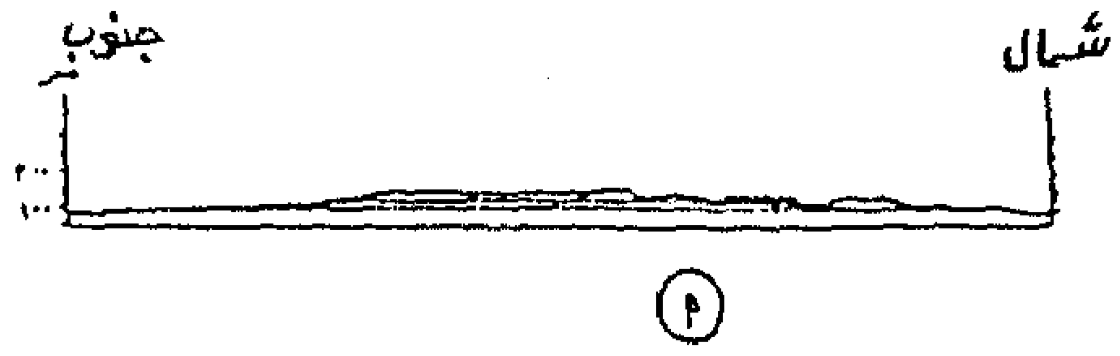


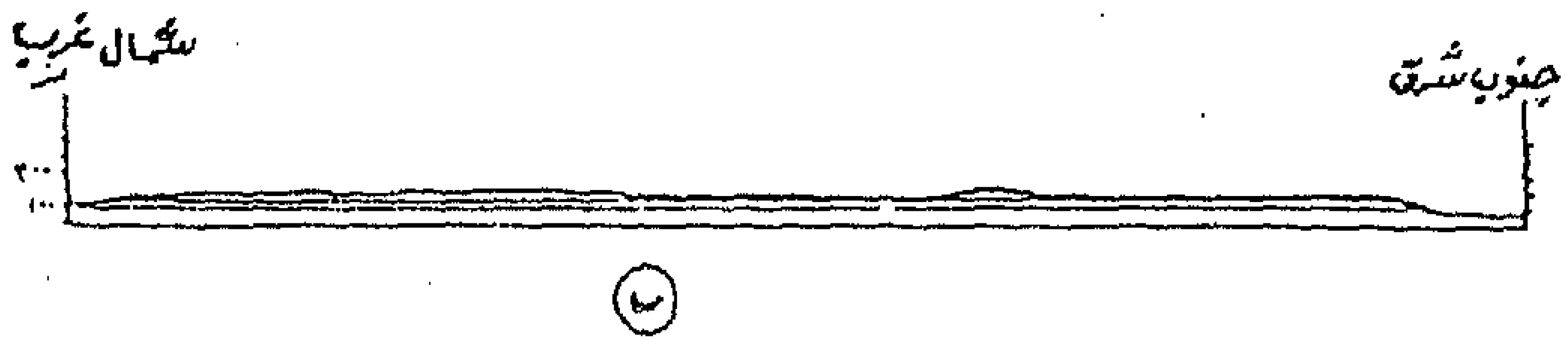

: خطوط بروفيل تبين تضاريس جبل المقطم

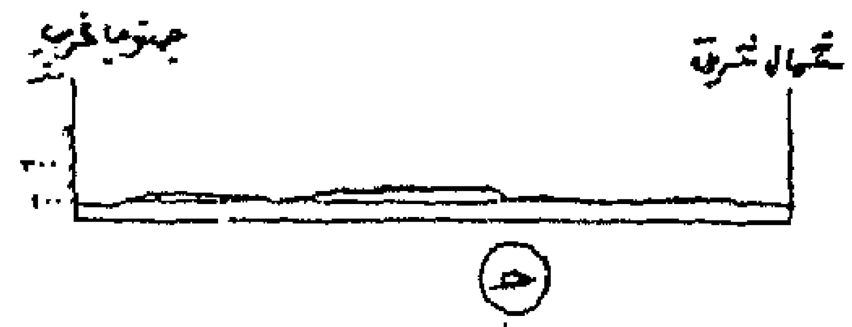
أ- فى الاتجاه شمال جنوب

ب- فى الاتجاه شمال غرب - جنوب شرق

ج- فى الاتجاه شمال شرق - جنوب غرب

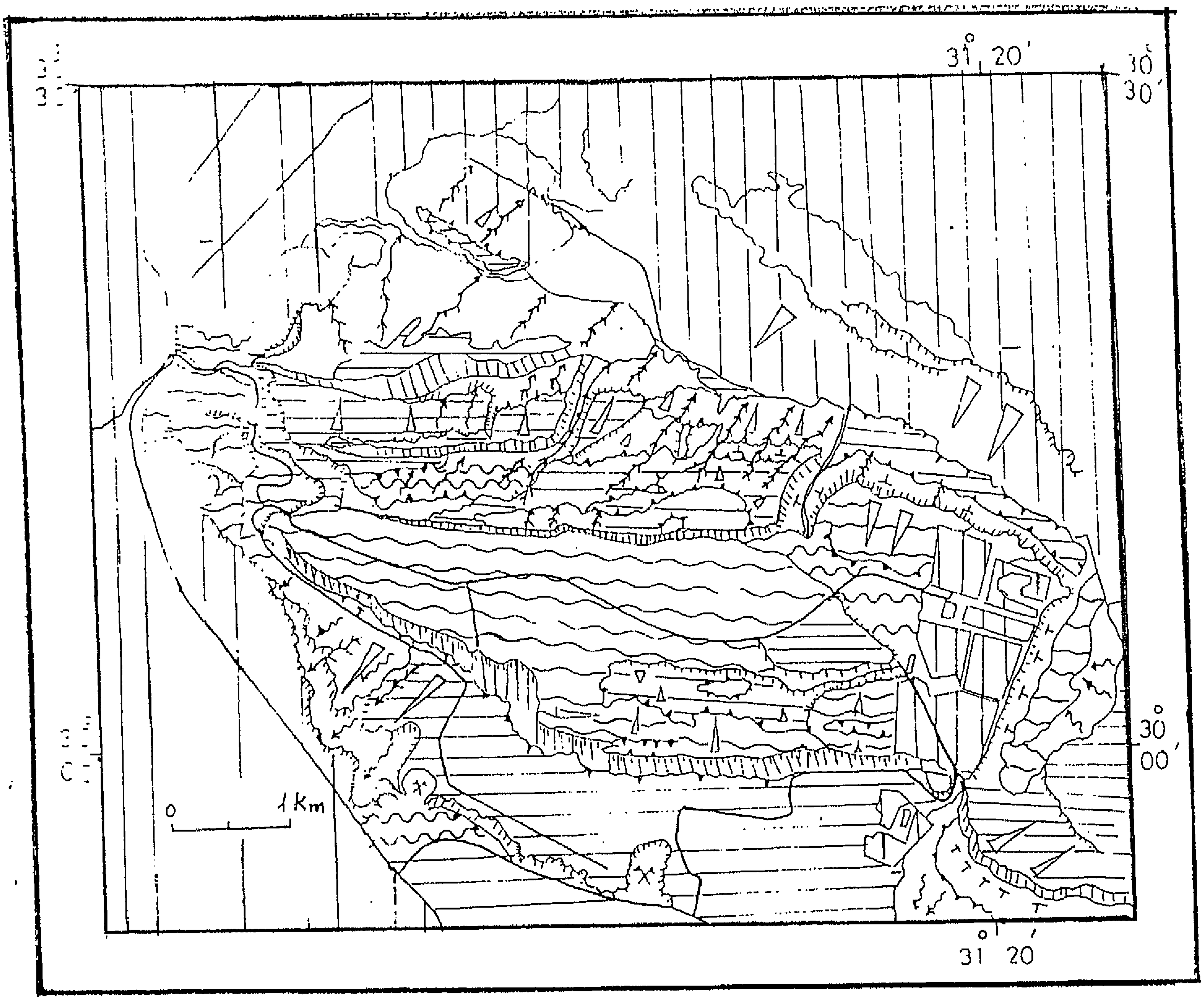



خريطة رقم (١) توضح طبوغرافية جبل المقطم

( عن أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، ١٩٩٧م)




خريطة رقم (٢) توضح جيومورفولوجية جبل المقطم
( عن أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا، ١٩٩٧م) .

جرف عالى
جرف منخفض الارتفاع
جرف قليل الارتفاع
منحدر شديد الميل
منحدر متوسط الشدة
منحدر خفيف
تغير محدب فى المنحدر
انحدار يسمح بدحرجه الصخور

أرض شديدة التعاريج
أرض متوسطة التعاريج
أرض خفيفة التعاريج
أرض مسطحة تقريباً
نحت بواسطة الوديان
اتجاه البورفيل ورقمة
محاجر

## هضبة المقطم السفلى Lower Mokattam Plateau

تتكون هضبة المقطم السفلى من سطح صخرى يرتفع عن مدينة القاهرة بحوالى ٥٠ إلى ٨٠ متراً ، تتكون صخور هذه الهضبة من تكوين المقطم الذى يتكون من حجر جيرى يسمى حجر البناء العلوى يليه إلى أسفل وحده صخور جيزاهنسيس ثم حجر البناء السفلى ، طبقات الصخور العليا لهذه الهضبة تمتد أفقياً وتكون سطح صلب مستوى تقريباً شبه أفقى، انحدار الهضبة من جهة الشرق طفيف يصل إلى ثلاثة درجات يمتد فى هذه الهضبة بعض الفوالق Faults ذات الاتجاه ( شرق – غرب ) (١)

## هضبة المقطم الوسطى Middle Mokattam Plateau

تمتد هذه الهضبة اسفل الهضبة العليا وتحيط بها من الشمال الشرقى والغرب والجنوب الغربى والجنوب ولا تظهر على الحدود الشمالية أو الشمالية الشرقية والجنوبية ، يتكون سطح الهضبة من حجر جيرى صلب (تكوين الجيوشى) أقصى اتساع لها فى الجنوب ويقل فى اتجاه الشمال الغربى حيث يصبح سطح الهضبة وعر ويتراوح ارتفاع هذه الهضبة من ١١٠ متراً إلى ١٥٠ متراً ، تتخلل هذه الهضبة وديان جافة كثيرة تصب معظمها من خلال حافة الجرف إلى الهضبة السفلى وذلك فى حالة سقوط الأمطار عليها . (٢)

## هضبة المقطم العليا Upper Mokattam Plateau

تحد هضبة المقطم العليا فوالق Faults فى اتجاه ( شرق – غرب ، شمال غرب – جنوب شرق ) مكونه جروف ذات انحدارات شديدة تكون حدود الهضبة العليا وتفصلها عن الهضبة الوسطى ، تأخذ الهضبة العليا شكل بيضاوى تقريباً باستطالة فى اتجاه ( شرق – غرب ) تقريباً ويتراوح ارتفاع الهضبة من ١٩٠ متراً إلى ٢١٠ متراً فوق سطح البحر وترتفع عن الهضبة الوسطى بحوالى ٦٥ متر تقريباً ، يتكون سطح الهضبة من الصخور الجيرية بسمك يتراوح من ٨ إلى ١٢ متراً وتسمى بطبقة عين موسى (٣) ويمتد أسفلها طبقات من الطفله والمارل وتنقسم الهضبة العليا للمقطم إلى قسمين :-

### (أ) الهضبة العليا الشمالية North Upper Plateau

تمتد الهضبة العليا الشمالية من حدود جبل المقطم الشمالية الغربية والشمالية الشرقية فى اتجاه الجنوب حتى منتصف الجبل تقريباً ويفصلها عن الهضبة الجنوبية منحدر يمتد فى الاتجاه ( شرق– غرب ) ، وتقسم الهضبة هضاب طولية تكون انحداراتها الجنوبية غالباً جروف أما الشمالية فتنحدر بمقاطع تكون مجموعة من المناطق المسطحة ويتكون سطح الهضبة من مرتفعات صغيرة المساحة ومستوية تقريباً يحيط بها جروف وانحدارات وتفصلها عن بعضها البعض أفرع الأودية .(٤)

---

(1) Strougo, A. : Eocene Stratigraphy Of The Eastern Greater Cairo, Gabal Mokattam – Helwan Area , Mid. East Res. Cent. Ain Shams Uni., Sc. Res. Ser. Vol. 5, 1985, PP. 1-9.

(2) Swedan, A.H.: Op. Cit., 1991, P.241 .

(٣) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : جيولوجية ومخاطر منطقة جبل المقطم ، القاهرة ، ١٩٩٧ ، ص٣٣ .

(4) Said, R., Op. Cit., 1962, P. 379.

### (ب) الهضبة العليا الجنوبية South Upper Plateau

تمتد الهضبة العليا الجنوبية من الحدود الجنوبية للهضبة العليا الشمالية إلى انحدارات جبل المقطم الجنوبية والجنوبية الغربية التى تفصل الهضبة العليا عن الهضبة الوسطى [1] ، أكبر اتساع لهذه الهضبة يصل إلى ٢كم ويتراوح ارتفاع سطح الهضبة بين ٢٠٥ م على حدودها الجنوبية إلى ١٧٠ م على حدودها الشمالية وتنحدر الهضبة فى اتجاه الشمال والشرق، يتكون سطح هذه الهضبة من الحجر الجيرى السميك [2] (تكوين المعادى) بسمك يتراوح بين ٥ إلى ٨ متر وتمتد بهذا السطح فواصل ، كما يتأثر بفوالق ذات الاتجاه شرق – غرب والتى شكلت مع الفواصل الحدود الجنوبية والجنوبية الغربية لهضابه ، وترتكز طبقات الحجر الجيرى فوق طبقات من الطفلة يصل سمكها إلى ١١ متراً .

## ٢ـ التتابع الطبقى العام لجبل المقطم

## General Stratigraphy Of Gabal El- Mokattam Clastic

يقع جبل المقطم شرق مدينة القاهرة ويتكون من صخور رسوبية جيرية وفتاتيه تتبع عصر الأيوسين الأوسط والعلوى كما تغطى بعض الأجزاء الشرقية والشمالية من جبل المقطم بالصخور الفتاتيه التابعة لعصر الأوليجوسين خريطة رقم (٣) تشكل الطبقات الجيرية والفتاتيه التابعة لعصر الأيوسين ثلاث هضبات رئيسية يشار إليها بالهضاب السفلى والوسطى والعليا وتتبع التكوينات الصخرية للهضاب الثلاث كل من عصر الأيوسين الأوسط والأيوسين العلوى وعصر الأوليجوسين ورواسب الحقب الرباعى ويوضح الشكل رقم (١١) قطاع جيولوجى ( شمال غرب- جنوب شرق ) جبل المقطم كما يوضح الشكل رقم (١٢) قطاع جيولوجى ( شرق – غرب شرق ) ويبين القطاعان التتابع الطبقى للمكونات الصخرية لجبل المقطم وهضابه الثلاث ، وفيما يلى هذه الطبقات مرتبه من أعلى إلى أسفل[3]

### رواسب الحقب الرباعى

يتكون من رواسب الوديان والرواسب التى تغطى بعض مساحات من مسطحات كل من الهضبتين العليا و الوسطى.

## عصر الأوليجوسين The Oligocene

## تكوين الجبل الأحمر Gabal Ahmar Formation

يتألف هذا التكوين من طبقات رمل زاهية الألوان وتكثر بها أكاسيد الحديد وكذلك الأشجار المتحفرة كما توجد بعض صخور الكوارتزيت الصلدة والتى تستخدم فى أعمال الزخارف المعمارية ، تنتشر هذه الصخور محيطة بجبل المقطم [4] أو مترسبه على حوافه الشرقية والشمالية بمنطقة مقابر الجبل الأحمر ومدينة نصر.

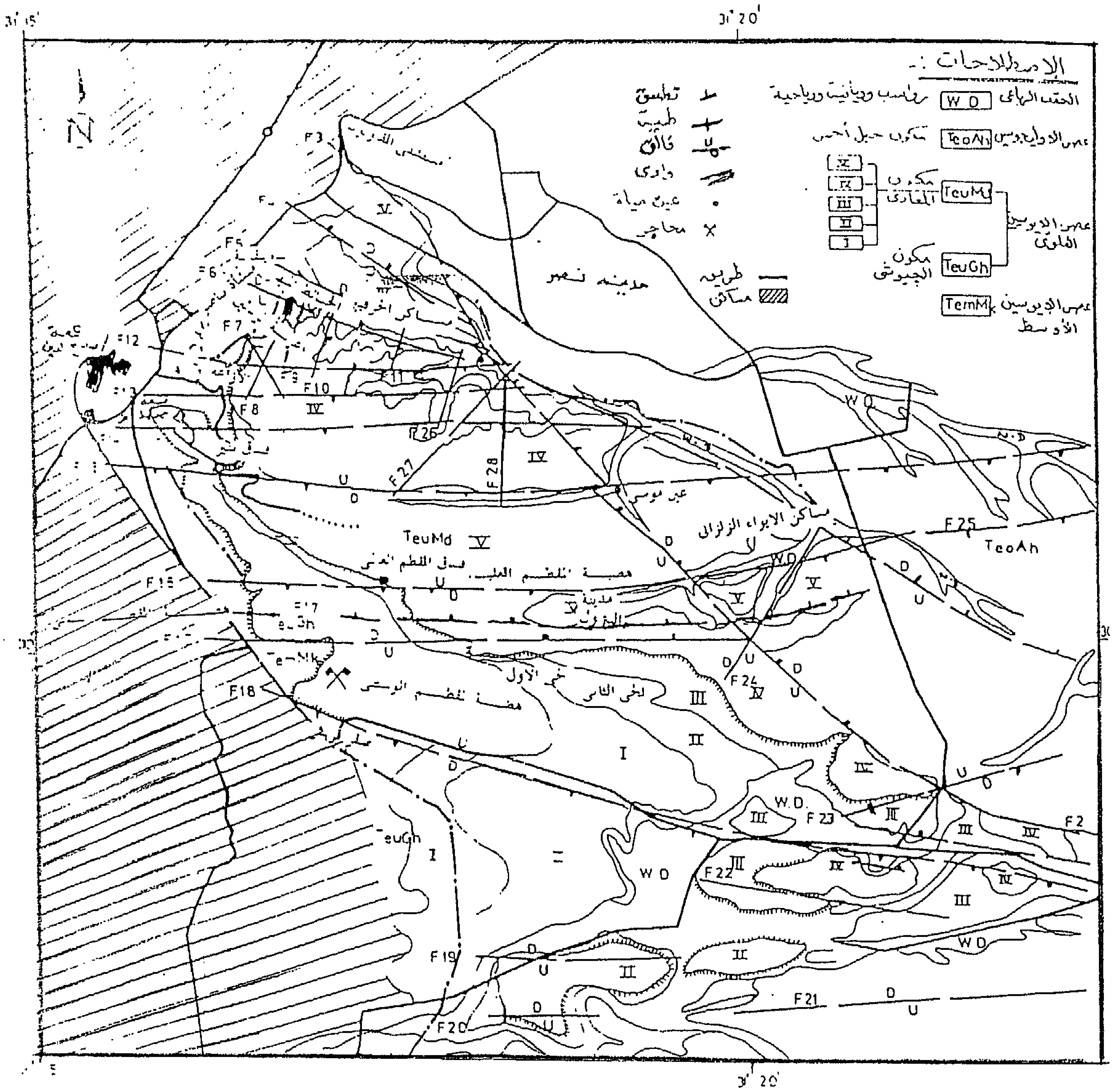
---

( 1) Strougo, A. : Op. Cit., 1985, P.4.

( 2) Swedan, A.H. : Op. Cit., 1991, P.242.

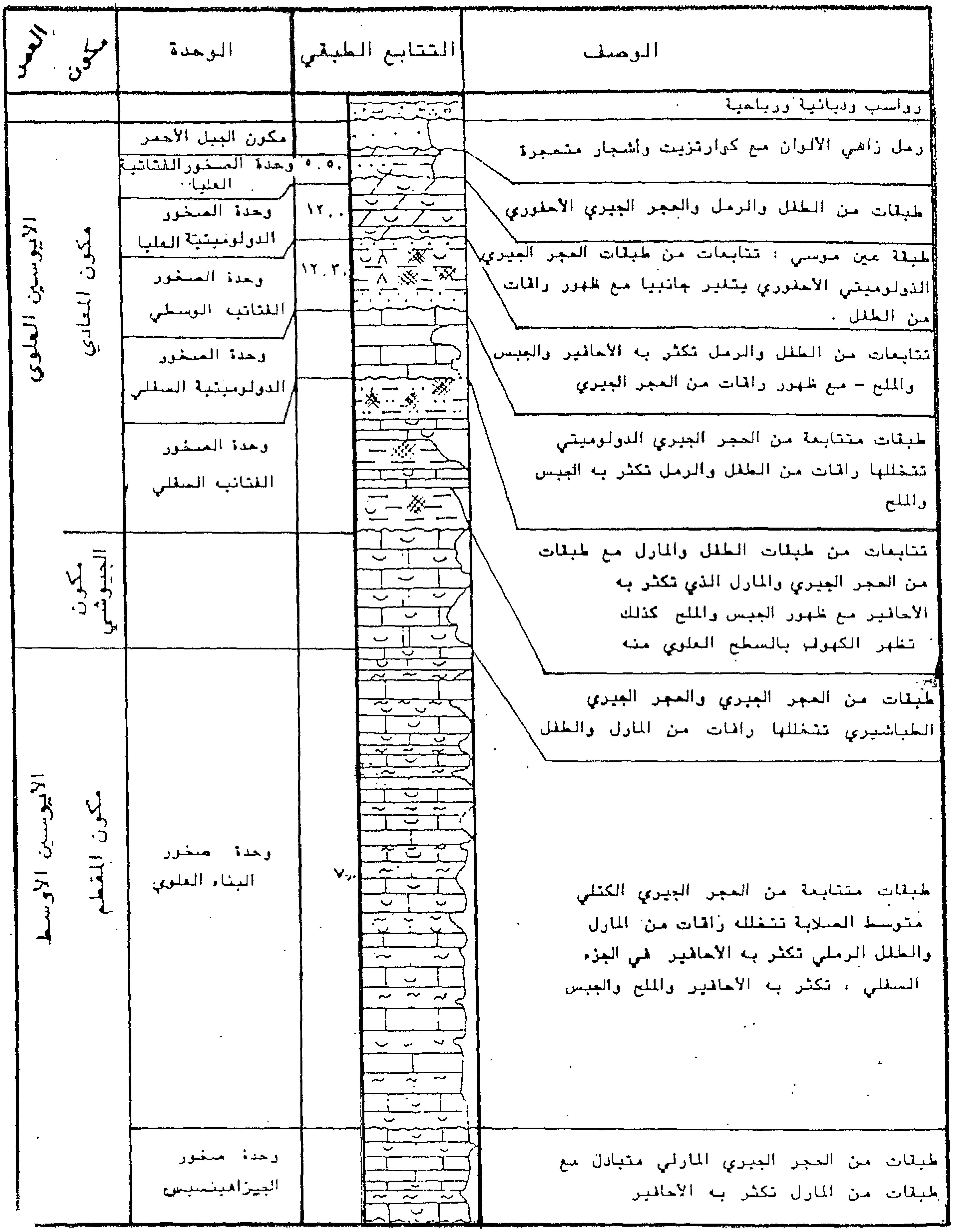
(٣ ) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مرجع سابق ، ١٩٩٧م ، ص ٥٤ .

( 4) Shukri, N.M.: On Cylindrical Structures And Colouration Of Gabal Ahmar Near Cairo, Egypt, Buul. Fac. Sci., Cairo Uni., Vol. 32,1954,P.12.




خريطة رقم (٣) توضح جيولوجية جبل المقطم

( عن أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا، ١٩٩٧م)




شكل رقم (١٣) يوضح قطاع جيولوجي رأسي تجميعي يبين التتابع الطبقي لصخور جبل المقطم .
(عن أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، ١٩٩٧م)

## عصر الأيوسين العلوى Upper Eocene

تتبع صخور هذا العصر تكوين المعادى وتكوين الجيوشى

## تكوين المعادى Maadi Formation

تغطى صخور تكوين المعادى سطح الهضبة العليا ، تنتشر صخور هذا التكوين لتغطى مساحة كبيرة بالقرب من مدينة صقر قريش ثم تمتد شرقاً حتى جبل العنقابية ، يتكون تكوين المعادى من تتابعات فتاتيه ( طفلـه ، غرين، رمل) تتبادل مع طبقات من الحجر الجيرى الدولوميتى ، تتصف صخور الطبقات الفتاتيه بأنها هشه سهلة التآكل ، أما الصخور الدولوميتيه فتتصف بأنها متوسطة الصلابة إلى صلبة ، تكثر بصخور هذا التكوين الحفريات المختلفة كما تكثر به الفواصل المليئة بالجبس بالإضافة لذلك وجود الفجوات الصغيرة والكهوف بأحجام مختلفة وقد أمكن تقسيم تكوين المعادى إلى الوحدات الصخرية التالية (١) مرتبة من أعلى إلى أسفل :-

١- وحدة الصخور الفتاتية العليا
٢- وحدة الصخور الدولوميتية العليا
٣- وحدة الصخور الفتاتية الوسطى
٤- وحدة الصخور الدولوميتية السفلى
٥- وحدة الصخور الفتاتية السفلى

## تكوين الجيوشى Giushi Formation

يظهر تكوين الجيوشى على امتداد سطح الهضبة الوسطى حيث تكون الجزء العلوى من هذه الهضبة بالإضافة إلى ذلك فإن صخور هذا التكوين تكون الطبقات السفلى من الهضبة العليا للمقطم ، يتألف تكوين الجيوشى من طبقات الحجر الجيرى الحفرى و الطباشيرى مع تداخلات من طبقات الطفله المائلة للأحمرار والمارل المصفر، تتميز طبقات هذا التكوين بأنها طبقات متوسطة الصلادة إلى صلدة كتليه تكثر بها الفواصل ، ويتغير سمك طبقات تكوين الجيوشى من مكان إلى مكان فيصل هذا السمك إلى ١٥,٦ متر بمنطقة منشأة ناصر كما يصل هذا السمك إلى ٢٠ متر بالقرب من جبل الجيوشى (٢) ترسبت صخور هذا التكوين بصفة مستمرة بعدم انقطاع على السطح العلوى لتكوين المقطم إلا أن السطح العلوى لتكوين الجيوشى يظهر انقطاع ترسيبى مع وجود سطح عدم توافق بينه وبين تكوين المعادى الذى يعلوه ، و بصفة عامة تنتمى طبقات تكوين الجيوشى إلى عصر الأيوسين العلوى (٣).

## عصر الأيوسين الأوسط Middle Eocene

الصخور المنكشفة لهذا العصر بجبل المقطم تعرف بتكوين المقطم وتغطى صخوره معظم الهضبة الوسطى وكذلك كل الهضبة السفلى ويتألف هذا التكوين من ثلاثة وحدات صخرية وهى على النحو التالى مرتبه من أعلى إلى أسفل:

**١-وحدة حجر البناء العلوى Upper Building Stone Member**

تظهر متكشفات هذه الوحدة بأكبر سمك لها فى مواجهة القلعة حيث يصل هذا السمك إلى ٧٠ متراً ، يقل هذا السمك تدريجياً جهة الشمال حيث سجل سمك ٤١ متراً ، وكذلك سمك ٣٥ متراً عند منطقة أخرى ، تكون صخور هذه

---

(١) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : جيولوجية ومخاطر منطقة جبل المقطم ، القاهرة ، ١٩٩٧م ، ص ٦١ .

(٢) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مرجع سابق ،١٩٩٧ م ، ص٨١

(3) Martin, L. : Op. Cit. , 1954, P. 118

الوحدة الجزء السفلى من الهضبة الوسطى الرأسية شديدة الانحدار ، تتألف هذه الوحدة من طبقات الحجر الجيرى المارلى بيضاء اللون مشوبة بالاصفرار كما تتبادل معها طبقات رقيقة من المارل وأحياناً الطفله تتميز صخور هذه الوحدة بكثرة الشقوق والفواصل كما تكثر بها الفجوات والكهوف بالإضافة إلى أن صخورها كتليه ضعيفة إلى متوسطة الصلادة .(١)

**٢- وحدة صخور الجيزاهنسيس Gizehensis Member**

تكون صخور هذه الوحدة الجزء الأوسط من تكوين المقطم وتتكون من طبقات الحجر الجيرى العضوى الغنية بحفريات النيموليت جيزاهنسيس ، هذه الصخور ذات طابع كتلى ، ضعيفة إلى متوسطة الصلادة ، كثيرة الفواصل ، يتراوح سمك المنكشف لهذه الوحدة بين ٦,٤٥ و ١٧,٧٥ متراً فى بعض المناطق ويصل إلى ٤٠ متراً على طريق الأوتوستراد أسفل هضبة المقطم (٢)

**٣- وحدة حجر البناء السفلى Lower BuildingStone Member**

تظهر متكشفات هذه الوحدة فى منطقة عين الصيره فقط ( قريباً من موقع المئذنة موضوع الدراسة التطبيقية بالرسالة ) تعتبر صخور هذه الوحدة من أقدم صخور المنطقة لتكوين المقطم وتتكون بصفة عامة من طبقات الحجر الجيرى المتبادل مع طبقات المارل وأحياناً الطفله ، لا تظهر صخور هذه الوحدة على السطح حيث أنها مغطاة بالمساكن عدا بعض المناطق الصغيرة جداً .(٣)

ويوضح الشكل رقم (١٣) قطاع جيولوجى رأسى تجميعى يبين التتابع الطبقى والأستراتجرافى لصخور جبل المقطم كما يوضح الشكل رقم (١٤) التتابع الطبقى لتكوين الجيوشى والمعادى عند الحافة الجنوبية للهضبة العليا.

## ٣- التتابع الطبقى الصخرى بالهضاب الثلاثة

يتضمن هذا الجزء وصفاً للتتابع الصخرى للهضاب الثلاثة المكونه لجبل المقطم لما لذلك من فائدة فى التعرف على النوعيات الصخرية لكل هضبة على حده وبالتالى يمكن التعرف على التكوينات الصخرية وصفاتها وهى كما يلى:- (٤)

### الهضبة العليا Upper Plateau

تتكون الهضبة العليا فى معظمها من صخور جيرية مع تداخلات من الطفلة تتبع تكوين المعادى ، إلا أن الأجزاء الشرقية والشمالية الشرقية منها تغطيها رواسب رملية تتبع تكوين الجبل الأحمر وفيما يلى وصفاً لكل من هذه التكوينات :

( 1) Said, R.: Op. Cit. , 1962, P.378

( 2) Swedan, A.H.: Op. Cit. , 1991,P.243

(٣) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مرجع سابق ، ١٩٩٧ م ، ص ٧١ .

(٤) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مرجع سابق ، ١٩٩٧ م ، ص ٦٤ .

## تكوين الجبل الأحمر Gabal Ahmar Formation

يتألف هذا التكوين من قطاع من الحصى والرمال الخشنة والناعمة غير المتماسكة والطبقات الصخرية عبارة عن حجر رملي يحتوى على بعض الحفريات وهو متغير فى ألوانه من الأصفر إلى الأبيض إلى الأحمر ويغلب اللون الأحمر فى المناطق المحيطة بالفوالق حيث تتركز اكاسيد الحديد الناتجة من المحاليل المتسربة من خلال الفوالق ويصل سمك الظاهر من تكوين الجبل الأحمر إلى ٤٠ متراً ويرجع عمرها الجيولوجى إلى عصر الأوليجوسين (١)

## تكوين المعادى Maadi Formation

يتألف هذا التكوين من أربعة وحدات صخرية متتابعة ومتباينة وهى كالآتى مرتبة من أسفل إلى أعلى :-

### أ- وحدة تتابع الصخور الفتاتيه والجيرية السفلى

تتكون هذه الوحدة من تتابعات من الطفله والحجر الجيرى ويصل سمكها إلى ٢٥,٣٥ متراً وتستقر هذه الوحدة على صخور تكوين الجيوشى بسطح عدم توافق (٢)

### ب- وحدة الصخور الدولوميتيه السفلى

تتكون هذه الوحدة من الصخور الجيرية الدولوميتيه والتى يتخللها طبقات من الرمل والمارل والطفله ويصل سمكها إلى ١٤,٤ متراً وتكون هذه الوحدة سطح شديد الانحدار وتعلو هذه الطبقات طبقات الطفله والمارل الخاصة بوحدة الصخور الفتاتيه السفلى حيث تظهر بعض الكهوف بين الوحدتين .(٣)

### جـ- وحدة تتابع الصخور العليا

يصل سمك هذه الوحدة إلى ٢٩,٢ متراً ولها انحدار منبسط يميل بزاوية تصل إلى ٢٦ °، تتكون هذه الوحدات من تتابعات متبادلة من الطفل والرمل والمارل والمحتوى على الجبس .

### د- وحدة الصخور الدولوميتيه العليا ( طبقة عين موسى )

تعتبر طبقة عين موسى ذات أهمية قصوى حيث أنها تكون السطح العلوى لهضبة المقطم وتتميز هذه الطبقة بأنها صلدة، كتليه ذات سمك كبير يتراوح ما بين ٦ أمتار إلى١٢ متراً (٤).

## الهضبة الوسطى Middle Plateau

تتضمن نطاقين يكونان الجدران الرأسية للمحاجر القديمة وهما من أسفل إلى أعلى

### أ- نطاق حجر البناء العلوى Upper Building Stone Member

يتكون من الحجر الجيرى وهو أحدث وحدة صخرية لتكوين المقطم وتحيط بكافة مناطق المقطم .

---

( 1) Shukri, N.M. : Op. Cit., 1954, P.14

( 2) Swedan, A.H.; Op. Cit., 1991, P.243

( 3) Shukri, N.M.:Op.Cit., 1954, P.15

( 4) Kabesh, M.L. And Hamada, M. :Op. Cit., 1956, P.6

## ب ـ نطاق (تكوين الجيوشى) Giushi Formation

يتكون من الصخور الجيرية العضوية التابعة لتكوين الجيوشى (الأيوسين الأعلى ) والذى يتكون بدورة من تتابعات طبقية من الحجر الجيرى متوسط الصلابة وهى كتليه ومتماسكة ويتخللها طبقات صغيرة السمك من المارل الأصفر وبصفة عامة فإن تكوين الجيوشى غنى بالحفريات وتكثر به الفوالق المملوءة بالجبس [1] ويصل سمك هذا التكوين إلى ٢٠ متراً مقاساً بالقرب من جبل الجيوشى وفى الجزء الشرقى من الهضبة الوسطى تعلو وحدة تتابع الصخور الفتاتيه والجيرية السفلى ( من تكوين المعادى) تكوين الجيوشى.[2]

## الهضبة السفلى Lower Plateau

تتكون الهضبة السفلى من تكوين المقطم والذى يتكون من الوحدات الصخرية التالية من الأقدم إلى الأحدث :-

## أ ـ وحدة صخور الجيزاهنسيس Gizehensis Member

تمثل هذه الوحدة النطاق العلوى من الهضبة السفلى وتتكون من طبقات الحجر الجيرى العضوى الملئ بحفريات النيموليت وهى ذات طابع كتلى وضعيفة إلى متوسطة الصلادة ويبلغ أقصى سمك لها ٤٠ متراً و تشكل طبقات هذه الوحدة القاعدة الصخرية الممتدة أسفل هضبة المقطم الواقعة بين منشأة ناصر والدويقه وجنوباً حتى الطريق الصاعد لهضبة المقطم .

## ب ـ وحدة حجر البناء العلوى Upper Building Stone Member

تتكون من طبقات متبادلة من الحجر الجيرى المارلى بيضاء اللون مشوبة بالاصفرار متوسطة الصلادة ويكثر بها الفوالق الرأسية وتمثل الحواف الرأسية لهضبة المقطم أى الجزء السفلى للهضبة الوسطى والجزء العلوى للهضبة السفلى وأكبر سمك لها حوالى ٧٠ متراً فى مواجهة القلعة ونقل فى السمك شمالاً فى اتجاه الدويقة فتصل إلى ٣٩,٧ متراً ، تمتد هذه الوحدة لتكون جبل منطقة البساتين والأجزاء السفلى من الهضبة الوسطى[3].

# ثانياً : تطور استخدام مواد بناء المآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة

## Evolution Of Using Of Archaeological Minarets Building Materiats Through Different Islamic Periods

كان جامع عمرو بن العاص بمدينة الفسطاط بمصر يحتوي علي مئذنة مشيدة من الطوب اللبن وقد قام والي مصر مسلمة بن مخلد الأنصاري من قبل معاوية بن أبى سفيان بهدمها سنة ٥٣هـ / ٦٧٣م وانشأ أربع مآذن في أركانه الأربعة ، كانت المئذنة الأولى التي شيدت وقت إنشاء جامع أحمد بن طولون مبنية من الطوب المحروق (الآجر) مثل بقية وحدات وعناصر الجامع المعمارية ولم تستمر هذه المئذنة المبنية من الآجر طويلا حيث أعيد بناءها بالحجر الجيري خلال عصر السلطان لاجين السيفي ، في العصر المملوكي (٦٩٦هـ / ١٢٩٦م) [4] أما في العصر

( 1) Martin, L. et al: Cairo Area. Geol. And Arch. Egypt, Petrol . Expt. Soc. Of Libya, 1964, PP.107-121

( 2) Swedan, A.H. : Op. Cit.,1991,P.244.

( 3) Strougo, A.: Op. Cit. 1985, P.5

(٤ ) عبد الله كامل موسى: مرجع سابق ، ١٩٩٤ ، ص ٥٤٥

الفاطمي ، فقد كانت مئذنة الجامع الأزهر مشيدة من الطوب المحروق (الآجر) ، إذ بنيت جدران الجامع وعقوده وقبابه في العصر الفاطمي من الآجر ، وقد تطورت عمارة المساجد في العصر الفاطمي تطورا كبيرا واخذ يقل استخدام الآجر ، وقد تطورت عمارة المساجد في العصر الفاطمي تطورا كبيرا واخذ يقل استخدام الآجر في البناء تدريجيا وذلك للعناصر المعمارية المختلفة للمساجد ومنها عنصر المئذنة ، وانتشر البناء باستخدام الأحجار ، وقد استخدمت الأحجار أول الأمر في العصر الفاطمي جنبا إلى جنب مع الآجر في جدران مسجد الحاكم بأمر الله[١] ، استمر استخدام الأحجار في العصر الأيوبي واستمرت العناية بصقلها وتنظيمها وبالرغم من ذلك فقد ظل الآجر مستخدما في البناء مثل مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب التي بنيت من قاعدتها إلى قمتها بالآجر المغطي بطبقة من الجص (٦٤١هـ / ١٢٤٦م) ، وفي عصر المماليك البحرية استمر استخدام الأحجار في بناء المآذن الأثرية وامتد الاستخدام خلال العصر المملوكي الجركسي بنفس قوة استخدامه في العصر المملوكي البحري وتعد مئذنة مدرسة وخانقاه الظاهر برقوق أول مئذنة بنيت قاعدتها إلى قمتها بالحجر في العصر المملوكي الجركسي (٨٠١هـ-٨١٣هـ / ١٣٩٩م-١٤١١م) ، وقد استمر استخدام الأحجار لبناء المآذن الأثرية خلال العصر العثماني ، ويتضح من ذلك أن الحجر كان مادة البناء الأساسية لتشييد المآذن خاصة خلال العصر المملوكي وقد استخدمت بجانب الأحجار مادة الطوب المحروق (الآجر) التي استغل المعمار مميزاتها البنائية فشيد بها بعض مآذنه من القاعدة إلى القمة أو استخدمها لبناء قمم بعض المآذن بجانب الأحجار وذلك لتخفيف الأحمال[٢].

## ١- الأحجار الجيرية Limestones

الحجر الجيري من الصخور الرسوبية ويتكون أساسا من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم $CaCO_3$)[٣] وقد يشتمل الحجر الجيري علي معدن الدولوميت وهو عبارة عن الكربونات المزدوجة من الكالسيوم والماغنسيوم $Ca, Mg(CO_3)_2$[٤] ويسمي الحجر الجيري في هذه الحالة بالحجر الجيري الدولوميتي Dolomitic Limestone[٥] وقد يحتوي الحجر الجيري علي نسب قليلة من بعض المعادن الكربونانية مثل الانكريت $CaCO_3$ والسيدريت $FeCO_3$ والارجوانيت $CaCO_3$ ومن الممكن أن يحتوي الحجر الجيري علي بعض الشوائب مثل بعض أكاسيد الحديد والتي تعطيه لونا محمرا أو مصفرا أو مواد عضوية مثل النباتات المتحجرة والتي تعطيه لونا رماديا ونستطيع القول أن الحجر الجيري النقي يكون لونه ابيض أو يميل إلى الرمادي أما في حالة وجود شوائب نجد أن الحجر الجيري يتخذ لونا فمثلا شوائب أكاسيد الحديد تعطيه ألوانا حمراء أو صفراء بينما تكسبه السليكات لونا أخضر أما الشوائب الكربونية فتكسبه لونا يميل إلى اللون الأسود[٦] ، وتتميز الأحجار الجيرية بوجود تركيب طبقي واضح كما أنها غنية في أنواع عديدة منها بالحفريات ونجد اختلافا كبيرا بين أنواع الحجر الجيري من حيث التبلور فبعض الأنواع تكون دقيقة الحبيبات جدا وبعضها يكون كامل التبلور[٧].

---

(١) ، (٢) عبد الله كامل موسى : مرجع سابق ، ١٩٩٤ م ، ص ٥٤٥ – ص ٥٤٦

(3) Pettijohn , E.J. : Sedimentary Rocks , C.B.S. Publishers And Distrbuters , India, 1984, P.13

(٤) محمد عز الدين حلمي : علم المعادن ، مكتبة الانجلو المصرية ، الطبعة الأولى ، القاهرة ١٩٦١م ، ص ٢٣٤

(5) Richard , M.P. : How To Know The Minerals And Rocks, New York , P. 180

(6) Richard , M.P. : Op. Cit. , New York, 1985 , P.181

(7) Pettijohn , E.J. : Op. Cit., India , 1984 , P.13

## أنواع الأحجار الجيرية Kinds Of Limestones

معظم أنواع الحجر الجيري ذات أصل عضوي ولكن بعضها يترسب في البحيرات أو الأنهار ويمكن تقسيم الأحجار الجيرية إلى القسمين الآتيين:

## الأحجار الجيرية الكيميائية العضوية Chemical Organic Limestones

تتركب الأحجار الجيرية العضوية أساسا من معدن الكالسيت ($CaCO_3$) وتوجد بها كميات متفاوتة من الشوائب(١) وبذلك تتكون الأحجار الجيرية الرملية والطفلية الحديدية ، والفوسفاتية وبوجود مواد عضوية غنية بكربونات الماغنسيوم يتكون ما يسمي بالحجر الجيري المغنيسي ، وفي بعض أنواع الأحجار الجيرية كالصخور المرجانية مثلا تتبلور كربونات الكالسيوم علي هيئة معدن الاراجونيت (فصيلة المعيني القائم) غير الثابت والذي يتغير لمعدن الكالسيت في الطور الثابت ولذلك يندر وجود معدن الاراجونيت في الأحجار الجيرية(٢) وتتكون معظم رواسب الحجر الجيري من مصدر عضوي بحري فتستخلص الكائنات العضوية كربونات الكالسيوم من ماء البحر لتبني القشور والأصداف Shells التي تصبح مسئولة عن تكوين أنواع متعددة من الحجر الجيري العضوي(٣)، وتتبع مجموعة الكائنات التي تفرز قشورا وأصدافا جيرية فصائل حيوانية ونباتية مختلفة أهمها الفورامينفرا والإسفنج والمرجان والحيوانات الشوكية والحيوانات الرخوة(٤)، ويتكون الحجر الجيري كذلك بطرق أخرى ليس مصدرها ترسب الأصداف والقشور الجيرية للكائنات البحرية(٥) فتترسب الكربونات نتيجة للنشاط الجيري لبعض الكائنات وذلك أثناء حصول النباتات البحرية علي ما يلزمها من ثاني أكسيد الكربون من البيكربونات المذابة في مياه البحر فتتحول إلى كربونات وتترسب ، ومن أهم أنواع الطحالب التي ترسب الحجر الجيري بهذه الطريقة الليثوثامنيام، Lithothamnium وهذا الطحلب واسع الانتشار في معظم مياه المحيطات(٦) ويعزي إليه تكوين كثير من طبقات الصخور الجيرية(٧)، وتسمي الصخور الجيرية العضوية بأسماء مختلفة طبقا لنوع الأصداف والمحارات الغالبة في تكوينها فنجد الحجر الجيري الفورامنيفري Feraminiferal Limestone والحجر الجيري الصدفي Shelly Limestone والحجر الجيري المرجاني Coral Limestone(٨) وتتكون هذه الصخور الجيرية العضوية من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم وفوسفات الكالسيوم وثاني أكسيد السيليكون بنسب متفاوتة(٩) وتحتوي هياكل وقشور بعض الكائنات مثل الفورامنيفرا والمرجان والطحالب علي كميات مختلفة من كربونات الماغنسيوم قد

---

(١) سعد الدين النقادي : أسس الجيولوجيا ، الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية ، طبعة ثانية ، ١٩٦٧م ، ص ٢٤٨

(٢) ج. د. تيريل : مبادئ علم الصخور ، ترجمة محمد كمال الدين العقاد وأخرون ، المركز القومي للأعلام والتوثيق ، ١٩٦٧ ، ص ٢٦١ – ص ٢٦٢

(٣) سعد الدين النقادي : أسس الترسيب وتطبيقاته ، سلسلة الكتب الدراسية ، رقم ٧ ، جامعة أسيوط ، ١٩٦٠ ، ص ٥٥

(4) Boynton , R.S. : Chemistry And Technology Of Lime And Limestone, John Wiley And Sons INC, New York , Second Edition , 1980 , P. 17

(٥) سعد الدين النقادي : مرجع سابق ، ١٩٦٠م ، ص٥٦

(6) Pirsson And Schuchert : Textbook Of Geology , Part2 , 2nd ed., 1994, P176

(7) Chave , K.E. : Aspects The Biogeochemistry Of Magnesium Calcareous Marine Orgnisms, Jour . Geol. , Vol. 62 , 1954 , P. 278

(٨) عادل محمد رفعت : مقدمة في علم الصخور ، دار القلم ، الكويت ، الطبعة الثالثة ، ١٩٧٩ ، ص ١٥٦

(9) Glock , W.S. : Algaeas Limestone Makers And Climate Indicators , Amer. Jour. Sci. , No 6 , 1993 , P. 377

تصل إلى ٢٥% في رواسب الطحالب[١] حيث يتم بفعل ذلك ترسيب الحجر الجيري الدولوميتي [٢] كما أن استعمال النباتات لثاني أكسيد الكربون يخفض من القلوية ويحتمل أن يؤدي إلى ترسيب هيدروكسيد الماغنسيوم مع كربونات الكالسيوم المترسبة بالتمثيل الضوئي Photosynthesis ثم يتحول هيدروكسيد الماغنسيوم إلى كربونات الماغنسيوم وبذلك يتكون الحجر الجيري الدولوميتي[٣].

## الأحجار الجيرية الكيميائية غير العضوية Chemical Inorganic Limestones

يترسب هذه النوع من الأحجار الجيرية نتيجة تفاعلات كيميائية بين محاليل ينتج عنها تفاعلات تؤدي إلى الترسيب ومن ذلك ترسيب كربونات الكالسيوم الموجودة في مياه البحر نتيجة لانخفاض كمية ثاني أكسيد الكربون الموجود في تلك المياه وتنخفض هذه الكمية نتيجة لإنخفاض ضغط الهواء أو ارتفاع درجة الحرارة أو انخفاض ضغط الماء فإذا انخفضت كمية ثاني أكسيد الكربون المذابة في مياه البحر تتحول بعض أيونات البيكربونات إلى كربونات وينشأ عن ذلك ترسيب الكربونات [٤]، ويحدث البخر والترسيب عادة تحت ظروف غير ملائمة لنمو بلورات كاملة الشكل ، فتعوق البلورات المتجاورة بنموها بعضها البعض[٥] ، ونجد أن مياه المحيطات السطحية تشبع بكربونات الكالسيوم وتحت هذه الظروف يعمل فقدان ثاني أكسيد الكربون أو ارتفاع درجة الحرارة أو كلاهما معا علي ترسيب كربونات الكالسيوم ويعزي تكوين بعض الأحجار الجيرية (الكلسية) الدقيقة الحبيبات والخالية من الحفريات لهذه العملية[٦] ويرجع ترسيب كربونات الكالسيوم من المياه العذبة أساسا لفقدان ثاني أكسيد الكربون ، فمعظم المياه الطبيعية تحتوي علي هذا الملح وتزداد قدرتها علي إذابة كمية اكبر منه بازدياد كمية ثاني أكسيد الكربون الموجودة [٧] ولهذا وبسبب فقدان هذا الغاز نتيجة لتبخر الماء المتساقط من سقف كهوف الأحجار الجيرية وسريانه علي أرضيتها تتكون الاستلاكتيت والاستلاجميت المعروفة وذلك بانفصال كربونات الكالسيوم علي هيئة أغشية رقيقة متتابعة علي نقط الماء[٨] والاستلاكتيت عبارة عن معلقات طويلة مدلاة من أسقف الكهوف أما الاستلاجميت فتتكون علي أرضيات الكهوف والاستلاجميت يكون غالبا علي هيئة شرائط دقيقة وحينما يظهر مصقولا يسمي بالاونيكس Onyx[٩] وتحتوي بعض الأحجار الجيرية علي كثير من حبيبات كربونات الكالسيوم الدقيقة الكروية أو البيضاوية التي تشبه بيض السمك ولذلك تسمي هذه الحبيبات بالبطارخ الحجرية ويسمي الحجر الجيري المحتوي عليها بالحجر الجيري البطروخي Oolitic Limestione ، أما الدولوميت فيتكون من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم $Ca, Mg (CO_3)_2$ والحجر الجيري الدولوميتي هو حجر جيري يحل فيه معدن الدولوميت محل جزء من معدن الكالسيت ، والحجر

---

(١) ج. د. تيريل : مبادئ علم الصخور ، ترجمة محمد كمال الدين العقاد وأخرون ، المركز القومي للأعلام والتوثيق ، ١٩٦٧م ، ص ٢٦٦

(٢) سعد الدين النقادي : أسس الترسيب وتطبيقاته ، سلسلة الكتب الدراسية ، رقم (٧) ، جامعة أسيوط ، ١٩٦٠م ،ص ٥٧

(٣) سعد الدين النقادي : المرجع السابق ، ١٩٦٠، ص ٥٦

(4) Lahee, F.H. : Field Geology , 2nd Ed, 1993 , PP. 18-20

(5) Johnston And Williamson, E.D. : Role Of Inorganic Agencies In The Deposition Of Calcium Carbonate, Jour. Geol. , 24, 1996 , P. 729

(٦) ج. د. تيريل : مبادئ علم الصخور ، ترجمة محمد كمال الدين العقاد وآخرون ، المركز القومي للأعلام والتوثيق،١٩٦٧، ص٢٤٠

(7) Gregory, J.W. : Constructive Water Falls, Geol. Mag. , 27 , 1991 , P. 537

(8) Johnston And Williamson, E.D. : Op. Cit., 1996, P.730

(٩) ج. د. تيريل : مرجع سابق ، ١٩٦٧ ، ص ٢٥١

الجيري المغنيسي هو الحجر الجيري الذي يحتوي علي كمية ملحوظة من كربونات الماغنسيوم ولو أن الدولوميت لا يوجد به ، وتتكون معظم هذه الصخور نتيجة إحلال الحجر الجيري العادي بكربونات الماغنسيوم الذائبة في ماء البحر ، وتحتوي المياه الأرضية علي غاز ثاني أكسيد الكربون وهذه المياه تحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات الكالسيوم طبقا للمعادلة الآتية

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

وعند فقدان غاز ثاني أكسيد الكربون للمياه المحتوية علي بيكربونات الكالسيوم يتم ترسيب كربونات الكالسيوم حيث يحدث إعادة ترسيب لكربونات الكالسيوم في صورة ترافرتين Travertine [١].

## مصادر الاحجار الجيرية المستخدمة في بناء المآذن الاثرية بمدينة القاهرة

من اهم المحاجر التي لعبت دورا هاما في تشييد المباني الاثرية والتاريخية حتى الفتح العربي لمصر وخلال العصور الإسلامية المتعاقبة محاجر جبل المقطم والجيوشي Mokattam and Giuoshi quarries وكذلك محاجر طره والمعصرة Tura and El-Ma'asara Limestone وقد كان يستخرج الحجر الجيري ايضا من الحد الشمالي للاراضي الزراعية المنخفضة جهة البساتين فكانت منطقتا اثر النبي والبساتين من اهم مقاطع الحجر الجيري وايضا وجد الحجر الجيري الذي سمى بالحجر الحلواني نسبة الي محاجر الحجر الجيري في حلوان[٢] وهذه المحاجر السابقة الذكر والتي لعبت دورا هاما في تشييد المباني الاثرية في العصور الإسلامية ومنها المآذن الاثرية تمتد علي حافة القاهرة من الشرق الي الجنوب الشرقي وتتسع نحو الجنوب علي الجهة الشرقية من النيل وتمتد هذه المحاجر من جبل الجيوشي شمالا الي هضبة الحلاونة جنوبا From Gabal El-Guishi in the North to El-Halawna Plateau in the south بمسافة حوالي ٤٠ كيلومتر ويرجع تكوينها الي زمن الايوسين الاوسط Middle Eocene age [٣] وهي تمثل تكوينات مستمرة من الحجر الجيري تشمل المناطق الاتية :

١- جبل المقطم

٢- شرق وجنوب شرق مصر القديمة

٣- جبل طرة

٤- حلوان

وتتضح هذه المناطق في خريطة رقم (٤)

## ١) منطقة جبل المقطم Gabal El-Mokattam

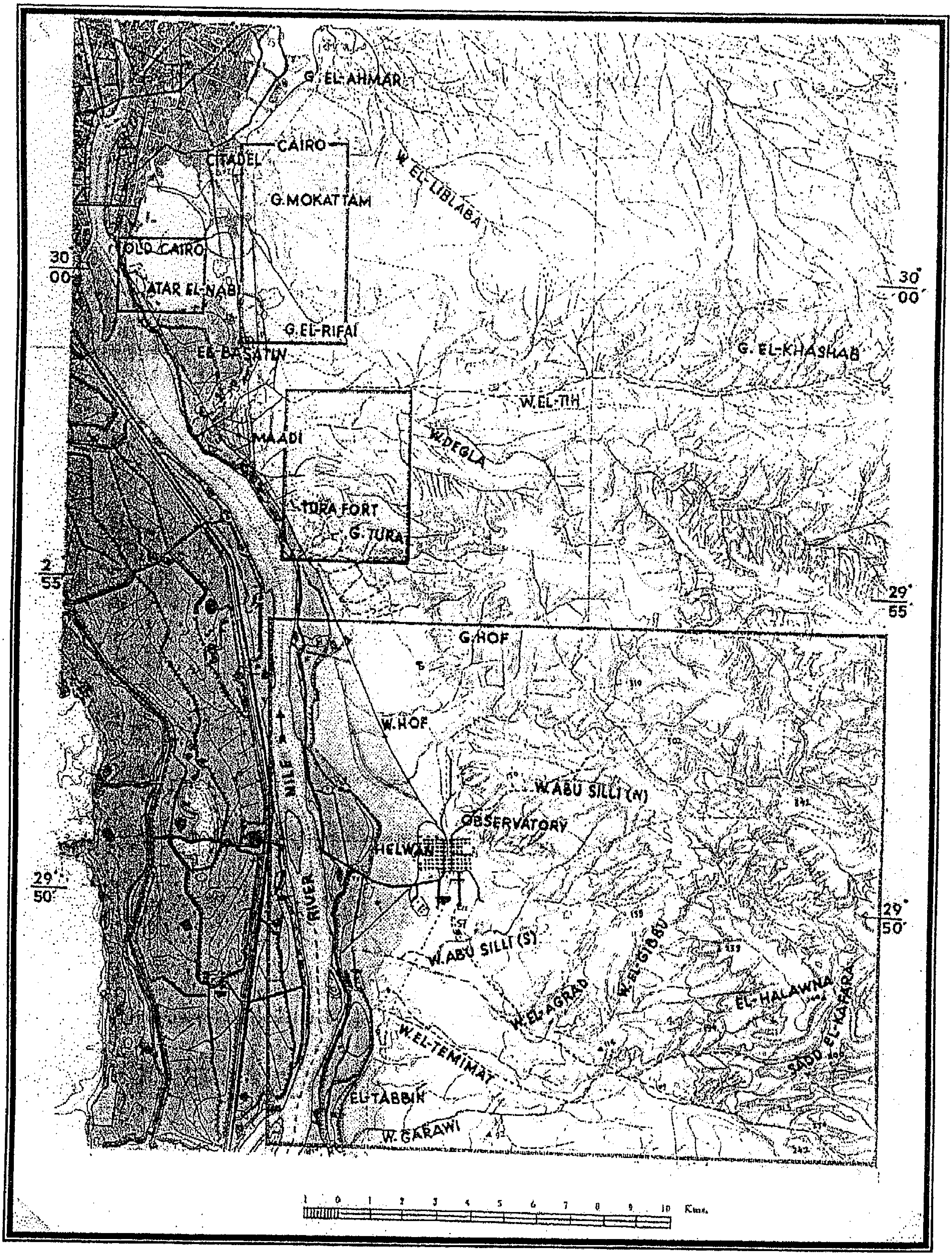
تمتد هذه المنطقة من شمال شرق قلعة صلاح الدين الايوبي الي جبل الرفاعي Gabal El Rifa'i جنوبا وتنقسم هذه المنطقة طبقا لمواقع التحجير الي :

- جبل العبيد Gabal El-Abiad
- شق التعبان Shaq El-Tiban
- جبل المواصلة Gabal El-Mowasla
- جبل الرفاعي Gabal El-Rifa'i

(1) Gregory, J.W. : Constructive Water Falls, Geol. Mag. , 27 , 1991 , P. 537

(٢) عطيات إبراهيم السيد : الرخام فى مصر فى عصر دولة المماليك البحرية ، دراسة أثرية فنية ، رسالة دكتوراه ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٤ ، ص ٦٣

(3) Kabesh , M.L And Hamada, M.: Lime Stone Of Cairo Neighborhood, Geològical Survey Of Egypt , Les Editionsunivertaires D. Egypt , 1956 P.1




خريطة رقم (٤) توضح مناطق المحاجر المجاورة لمدينة القاهرة

(عن كابش وحمادة ١٩٥٦ م)

وترتفع منطقة المقطم في اتجاه الجنوب ونجد في منطقة شق التعبان ان سمك طبقات الحجر الجيري يصل الي عدة امتار مما يسهل من عملية التحجير في هذه المنطقة وكذلك بسبب وجود الطبقات الأفقية المنتظمة والطبيعية اللينة للحجر الجيري اما منطقة الرفاعي فقد سميت بهذا الاسم نظرا لأن جبل الرفاعى Gabal El-Rifa'i كان هو المحجر الذي آخذت منه الأحجار الجيرية التي استخدمت في بناء جامع الرفاعي بمنطقة القلعة والحجر الجيري في جبل الرفاعى ذو نوعية جيدة ويبلغ الموقع الصالح للتحجير فيه عدة مئات من الامتار .

## ٢ ) منطقة شرق وجنوب شرق مصر القديمة East and South East old Cair

تمثل هذه المنطقة هضبة منخفضة نسبيا عن المقطم وهي متفرقة عن بعضها البعض بمساحات واسعة من الاراضي الزراعية وهناك موقعين للتحجير في هذه المنطقة هما : (١)

أ - منطقة اثر النبي Atar El-Nabi          ب - منطقة بطن البقرة Batn El-Baqara

ويعتبر الموقع الثاني من المواقع الهامة في عملية التحجير اسفل مستوى سطح الأرض وتظهر على هيئة فجوات في تجويفات واسعة وطبقات الحجر الجيري في هذه المنطقة متراصة بانتظام مما يسهل من عملية التحجير واستخراج الأحجار فيها اما من عيوب التحجير في هذه المنطقة هو سمكها القليل والذي يصل الي عدة أمتار .

أما في منطقة أثر النبي فأنها تعتبر الأقرب إلى النيل ويفصلها عنه مساحة صغيرة من الأرض الزراعية والتي تصل الي كيلومتر واحد .

## ٣ ) جبل طره Gabal Tura

وتشمل هذه المنطقة الاجزاء الواقعة ما بين وادي دجلة Wadi Degla وشرق المعادي East of Maadi ويمتد جبل طره جنوبا ليشمل منطقة المعصرة Ma'asara limestone ويعتبر جبل طرة مركزا نشطا لعمليات التحجير وتتميز منطقة طره والمعصرة بانتشار الكهوف فيها ويمكن ملاحظة بعضها علي سطح الجرف الصخري ، وطبقات الحجر الجيري فيها متراصة بشكل جيد ومترامية الاطراف .

## ٤ ) منطقة حلوان Helwan Area

وهذه المنطقة تنقسم الي أجزاء مرتفعة من تكوينات الحجر الجيري والتي تشتمل علي عدد من الهضاب المرتفعة أهمها هضبة الحلاونة El Halawna Plateau كما تضم هذه المنطقة وادي ابوسيلي Wadi Abu Silli كما توجد في هذه المنطقة تكوينات من الحجر الجيري تكون تلال منخفضة نسبيا وبين هذه المنطقة المنخفضة منطقة ذات هضاب مرتفعة ومنها هضبة الحلاونة توجد منطقة ابوسيلي واغلب الهضاب في منطقة حلوان مرتفعة ورأسية ولكنها منحدرة الجوانب في اجزاء قليلة منها ومعظم اسطح تلال الحجر الجيري في هذه المنطقة تظهر داكنة اللون بسبب بقايا الحجر الجيري الدولوميتي والذي تعرض للتآكل بفعل عمليات التجوية وهي تغطي جوانب التلال وقمم الهضاب وتختلف درجة دكانة اللون من منطقة لاخرى ويعرف هذا المظهر السطحي الداكن الناتج من عمليات التجوية باسم باتينا الصحراء Desert Patina ويتدرج اللون من البني الفاتح الي البني الداكن.(٢)

---

(1) Kabesh, M.L And Hamada, M.: OP. Cit. 1956, P.4

(2) Kabesh, M.L And Hamada, M.: OP. Cit. 1956, P.5

ويتضح من خلال ما سبق ان الاحجار الجيرية اللينة نسبيا فى هذه المناطق تتكون بشكل كبير من معدن الكالسيت[١] اما في الاحجار الصلدة فاننا نجد ان اغلب تكوين الحجر الجيري يكون من معدن الكالسيت إلى جانب الشوائب من مركبات الحديد و هي التي تعطي الالوان المختلفة من الاصفر الي البني ٠و لقد أعطت التحاليل الكيميائيـــة التـــي أجريت لدراسة الأحجار الجيرية في المناطق السابقة الذكر بعد اخذ نسبة الكالسيت والسليكا كأساس للمقارنة بينـــهم النتائج الموضحة في جدول رقم (٢) [٢]

**جدول رقم (٢) يوضح نسبة الكالسيت والسليكا في مناطق**

**جبل المقطم والجيوشي - شرق وجنوب شرق مصر القديمة - طرة - حلوان**

| م | المنطقـــــة | الكالسيت % $CaCO_3$ | السليكا % $SiO_2$ |
|---|---|---|---|
| ١ | جبل المقطم ويشمل جبل العبيد وشق الثعبان وجبل الجيوشي | ٩١,٨٥ | ٣,٥ |
| ٢ | جبـــــل الرفاعـــــي | ٩٤,٩ | ١,٤٤ |
| ٣ | بطـــــن البقـــــرة | ٩١,٦٦ | ٢,٦٥ |
| ٤ | اثـــــر النبـــــي | ٩٢,١٤ | ٣,٥٨ |
| ٥ | جبـــــل دجلـــــة | ٩٥,٧٣ | ١,٢ |
| ٦ | جبـــــل طـــــرة | ٩٠,٨ | ٥,٣٦ |
| ٧ | الهضبة السفلى بمنطقة حلـــوان | ٩١,٥٥ | ٣,٧٨ |
| ٨ | الهضبة العليـــا بمنطقـــة حلـــوان | ٩٠,٣٣ | ٣,١١ |

(After Kabesh 1956)

## الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأحجار وعلاقتها بتلف المآذن الأثرية

تعتبر الأحجار الجيرية مادة البناء الأساسية والتى استخدمت بشكل كبير فى بناء المآذن الأثريـــة وتعتمـــد مقاومـــة الأحجار لعوامل التلف المختلفة بشكل كبير على الخواص الفيزيائية والميكانيكية حيث نجد أن الكتل المختلفـــة مـــن نفس نوع الحجر قد تختلف وتتباين فى خواصها وذلك بسبب اختلافها فى التكوينات المعدنية والنسيج الصخرى الذى قد يتنوع ويختلف باختلاف الأصل الجيولوجي وظروف التكوين للأحجار[٣] ، وعلى سبيل المثال تعتـــبر خـــاصيتى المسامية Porosity و النفاذية Permeability من أهم الخواص الفيزيائية التى تعتبر مؤشـــرا لتلـــف وتحلـــل الأحجار حيث أنهما تتحكمان فى مقدار الماء الذى ينفذ إلى داخل الأحجار وبالتالى إتلافها وكذلك تنشـــيط عوامـــل التلف الأخرى مثل تبلور الأملاح [٤] والتلف الميكروبيولوجى.وغيرها كما تعمل الخواص الميكانيكية للأحجار والتى

---

(1 ) Kabesh, M.L.& Hamada, M.: Op. Cit., 1956 , P.7

( 2 ) Kabesh, M.L.And Hamada, M.: Ibid, 1956, P.8

( 3) Winkler, E. M. : Stone, Properties, Durability In Man's Enviromemt, Springer- Verlag, New York, 1973,P.6

( 4) Blair, B.E.: Physical Properties Of Mine Rock, Part IV, U.S. Bur. Mines Rep. Inv. 5160, 1956, P.215

تمثل تحمل الأحجار للإجهادات الواقعة عليها على التحكم فى بقاء المبنى الأثرى دون انهيار وبحالة جيدة لأطول فترة ممكنة [١] ومن ناحية أخرى فإن عمليات العلاج والترميم والصيانة لابد أن تتوافق مع الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأحجار كما يجب التعرف على التغير فى هذه الخواص الذى من الممكن أن يسبب المزيد من التلف بفعل عمليات العلاج والترميم والصيانة ولذلك قبل إجراء أى عمليات ترميم لابد من التعرف على خواص مواد البناء التى يتم ترميمها ضمن دراسة الوضع الراهن للمآذن الأثرية مثل الأحجار والمونات وغيرها وتشتمل هذه الخواص على الكثافة الكلية والوزن النوعى والمسامية و النفاذية وامتصاص الماء بالنسبة للخواص الفيزيائية أما الخواص الميكانيكية فتشمل الإجهادات التى تتعرض لها أحجار البناء وأهمها إجهادات الضغط والشد والقص وفيما يلى هذه الخواص

## أولاً : الخواص الفيزيائية للأحجار Physical Properties of Stones

### ١) الكثافة Denisty

هى العلاقة بين وزن العينة إلى الحجم الخارجى لها بدون حساب المسام الداخلية الموجودة فى تركيب الأحجار وهى بذلك تمثل ناتج قسمة وزن العينة على الحجم الخارجى لها والذى يشمل حجم حبيبات الحجر بالإضافة إلى حجم المسام وكثافة الأحجار الجيرية تتراوح ما بين ١,٧ إلى ٢,٢جم / سم٣ وقد تصل إلى ٢,٦ جم / سم٣ [٢] ويصعب التعامل مع الأحجار التى تزيد كثافتها الكلية عن ٢,٢جم /سم٣ بواسطة أدوات تسويه الأحجار وإعدادها للبناء أما الأحجار التى تقل كثافتها عن ١,٧ جم/ سم٣ فتعتبر أحجار لينه وتتعرض للتلف والتجويه بسهولة وعند اختيار الأحجار لإجراء عمليات الترميم أو الاستكمال للمآذن الأثرية يتم اختيار أحجار تتميز بدرجة كثافة عالية ( ربما أعلى من ٢,٢جم/سم٣) حيث يمكن التعامل معها فى الوقت الحالى بسهولة بواسطة الطرق الحديثة والآلات الخاصة بتسوية وإعداد الأحجار للبناء .[٣]

### ٢) الوزن النوعى Specific Gravity

يعرف الوزن النوعى لعينه من الصخر بأنه النسبة بين وزن حجم معين من هذا الصخر إلى وزن كمية الماء بحجم يساوى حجم هذا الصخر ويتوقف الوزن النوعى على عدة عوامل هى

١- مقدارها ما تحتويه وحدة الحجوم من الصخر من مواد صلبة .

٢- الوزن النوعى للمادة الصلبة الموجودة فى هذا الحجم .

٣- مقدار ما يوجد من ماء فى الفراغات المتكونة بين حبيبات المادة الصلبة [٤].

### ٣) المسامية Porosity

تعبر المسامية عن العلاقة بين حجم المسام Pore Volume والحجم الكلى Bulk Volume للأحجار[٥] وتعتبر مسامية الصخور النارية والمتحولة منخفضة [٦] وهى عادة أقل من ٥% ولكنها قد تصل إلى ٣٠% أو أكثر فى

---

( 1) Merrill, G.P.: Stones For Building And Decoration, Johnwiley, New York, 1930, P.13

(٢) إبراهيم عبيدو : الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ط ٦ ، ١٩٩٥، ص٧٨

( 3) Shaffer , R.J.: The Weathering Of Natural Building Stones, Harrison And Sons, London, 1932,P.9

(٤) إبراهيم عبيدو : مرجع سابق ، ١٩٩٥ م ، ص ٧٩

( 5) Merrill, G.P.: Op. Cit., 1930, P.19

( 6) Fitzner, B.: Porosity Properties And Weathering Behaviour Of Natural Stones Methodology And Examples, In : Stone Material In Monuments Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993, P.45

بعض أنواع الصخور الرسوبية [١] وتعتبر المسامية من الخواص الهامة فى حدوث التلف للأحجار حيث يلعب شكل المسام وحجمها دوراً هاماً فى ذلك لأنها تتحكم فى كميات الماء التى تنتشر داخل حبيبات الأحجار ونجد أن ميكانيكية التلف للعديد من مظاهر التلف مثل التلف الناشئ عن تبلور الأملاح Salts Crystallization يعود إلى وجود الماء داخل مسام الأحجار ومواد البناء [٢] ولا يوجد تشابه بين الأنواع المختلفة من الأحجار من حيث الشروخ والفجوات والفراغات والنظام الشعرى الموجود داخل التركيب البنائى للأحجار[٣] ويعتبر النظام الشعرى للأحجار هو المسئول عن حركة وامتصاص الماء داخل الأحجار[٤] .

وهناك عامل هام يتحكم فى نسبة مسامية الأحجار المختلفة وهو أشكال المسام وأحجامها حيث نجد العديد من الأشكال التى تأخذها المسام [٥] ومنها المسام الأسطوانية Cylindric Pores ، وهناك مسام عريضة من أحد طرفيها وضيقة عند الطرف الآخر وتشبه رقبه الزجاجة وتسمى bottle neck pores ومسام تشبه الوتد Wedge – like pores ومسام ذات شكل خطى Linear pores ومسام ذات نظام معقد ومتشابك Labyrinth– like type pores ويوضح الشكل رقم(١٥) بعض أنواع هذه المسام بالإضافة لذلك نجد أن أحجام المسام مختلفة [٦] ويتحكم ذلك العامل فى مدى فاعلية الخاصية الشعرية للأحجار وقدرة المسام على صعود المحاليل الملحية والمياه الأرضية خلالها [٧] ومن حيث أحجام المسام فإنها تنقسم إلى الآتى :-

- Micropores مسام دقيقة جداً > $١٠^{-٧}$ m No capillary Action

لا يوجد تأثير للخاصية الشعرية

- Capillary pores مسام شعرية $١٠^{-٧}$-$١٠^{-٤}$ m Capillary Action

توجد خاصية شعرية

- Airpores مسام هوائية < $١٠^{-٤}$ m Capillarybreaking

لا تتميز بالخاصية الشعرية

وبصفة عامة تزداد مسامية الأحجار بزيادة حجم المسام [٨] ومن الممكن أن تتغير المسامية الكلية للأحجار بفعل عوامل التجوية والتلف[٩] والتى قد تؤدى إلى ذوبان بعض تكوينات الأحجار بفعل الرطوبة فتزداد مسامية الأحجار[١٠] ويوضح الجدول رقم (٣) مسامية بعض أنواع الصخور .

---

( 1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone , Guide To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert, Verlag, Germany, Second Ed. 2000, P,17

( 2) Schaffer, R.J.: Op. Cit.,1932,P.22

(٣) إبراهيم عبيدو : مرجع سابق ، ١٩٩٥م ، ص٧٤

( 4) Weber, H. And Zinsmeister, K.:Op.Cit.,2000,P.18

( 5) Windes, S. L.: Physical Properties Of Mine Rock, Part Ii, U.S. Bur. Mines Rep. Inv. 4727, 1950, P.42

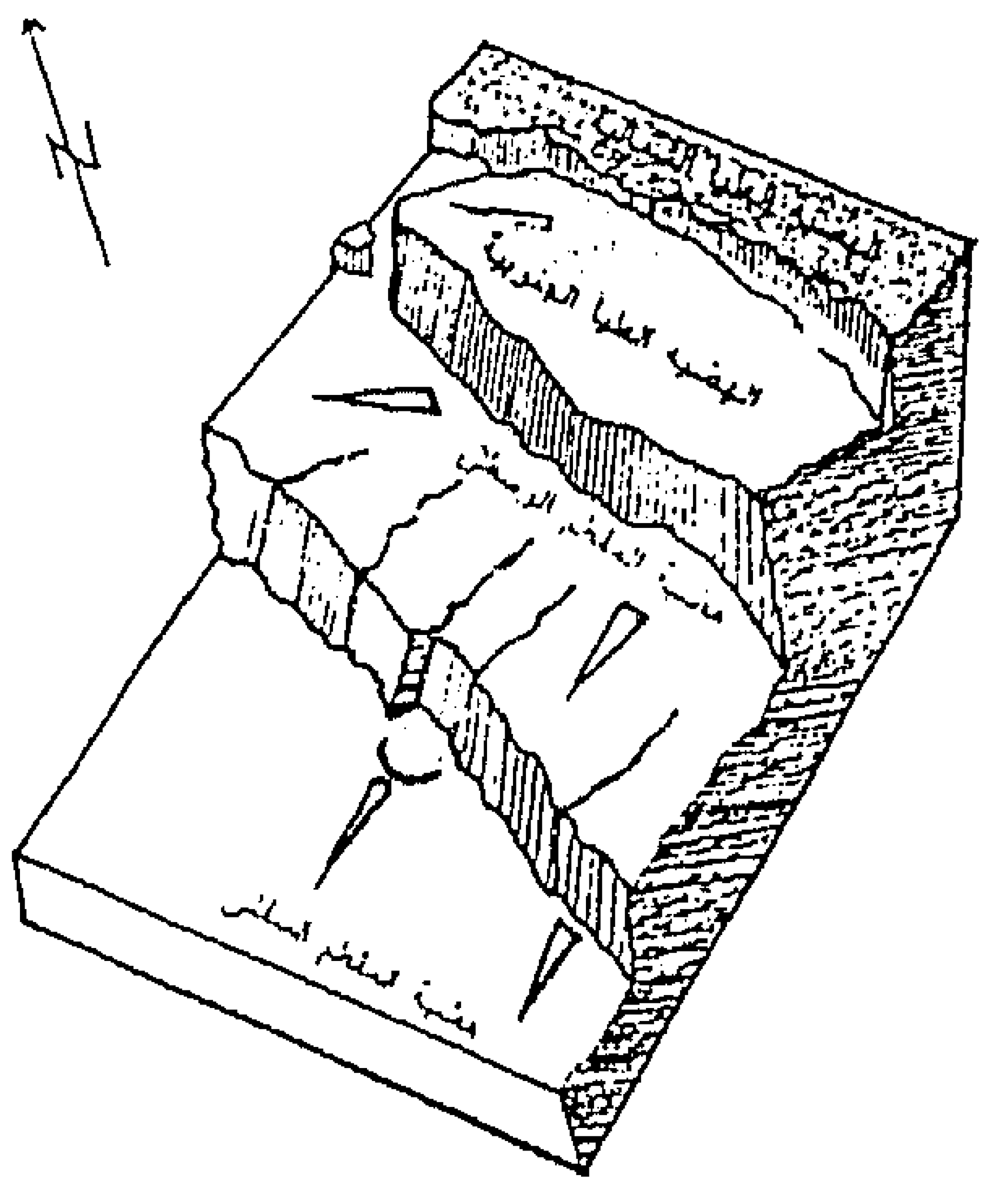
(٦) إبراهيم عبيدو ، مرجع سابق ، ١٩٩٥ ، ص ٧٥

( 7) Weber , H. And Zinsmeister, K.: Op. Cit.,2000,P.19

( 8) Fitzner, B.Op. Cit. , 1993, P.46

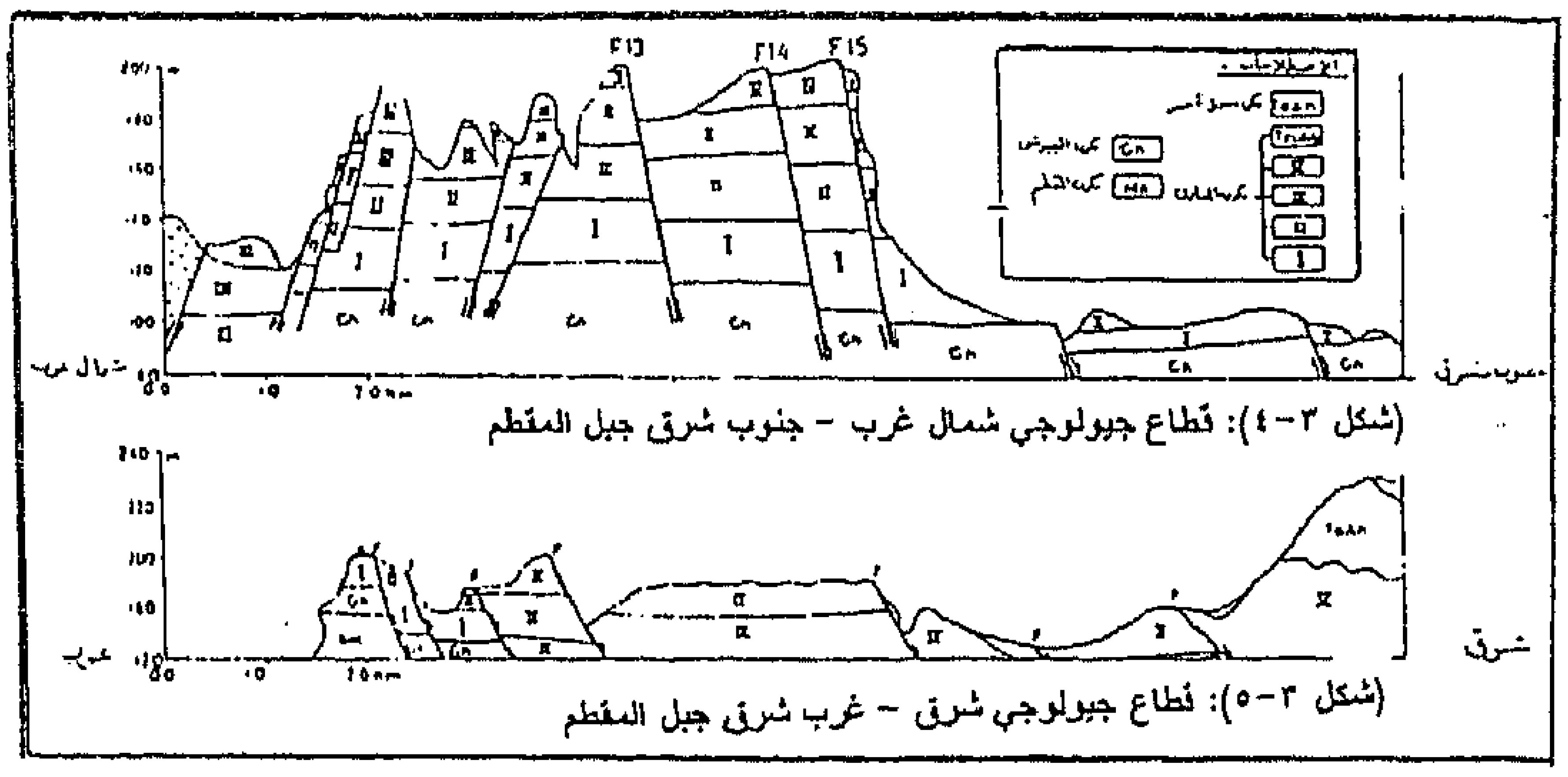
( 9) Blatt, H. et al: Origin Of Sedimentary Rocks, Prentice- Hall, London, 1980, P.30

( 10) Merrill, G.P.: Op. Cit., 1930, P.21



شكل رقم ( ١٠ )

يوضح امتدادات هضاب المقطم الثلاث

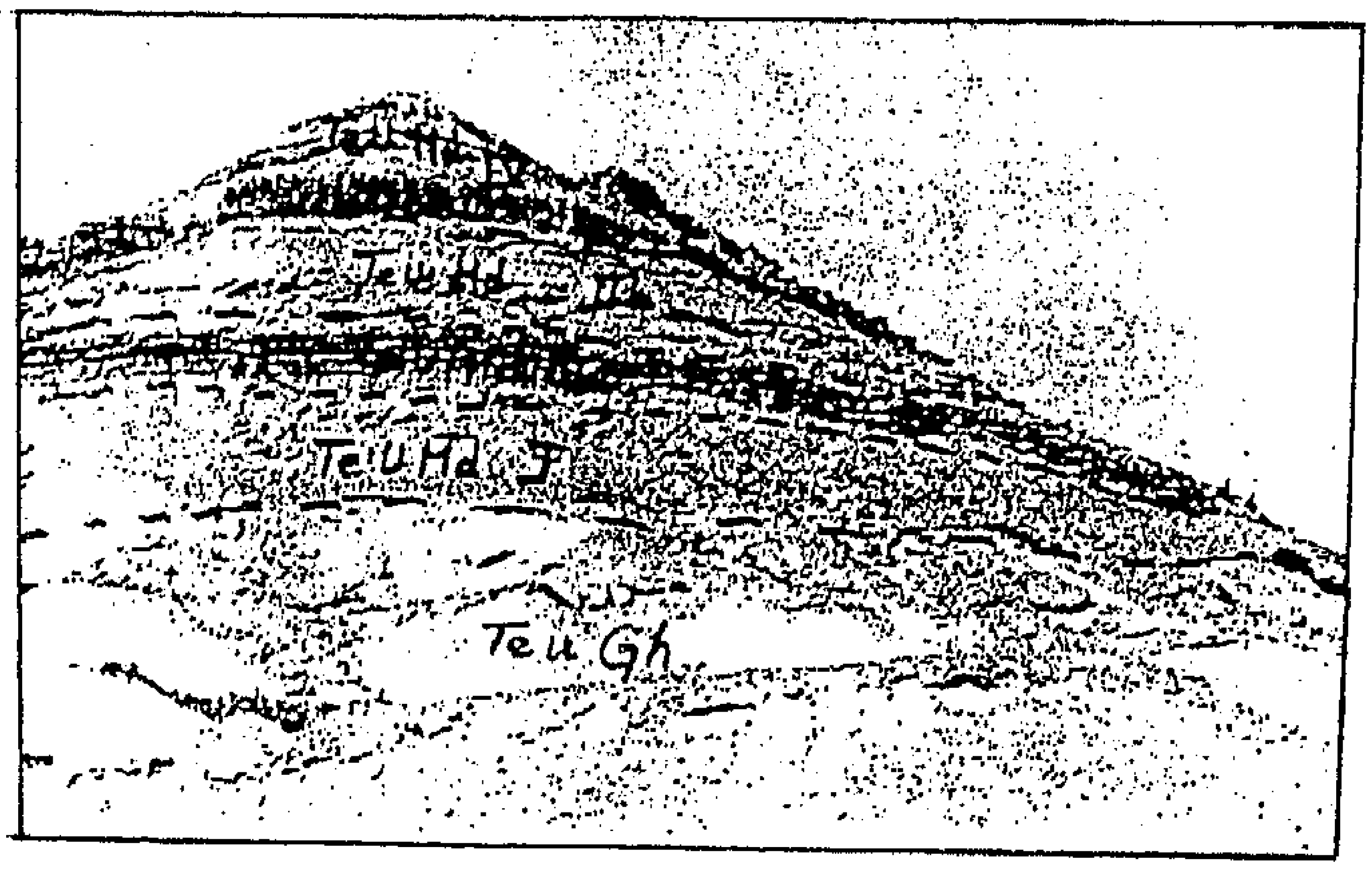



شكلين رقمي ( ١١، ١٢ )

( ١١ ) يوضح قطاع جيولوجى ( شمال غرب - جنوب شرق) جبل المقطم

( ١٢ ) يوضح قطاع جيولوجى ( شرق- غرب شرق) جبل المقطـــــم

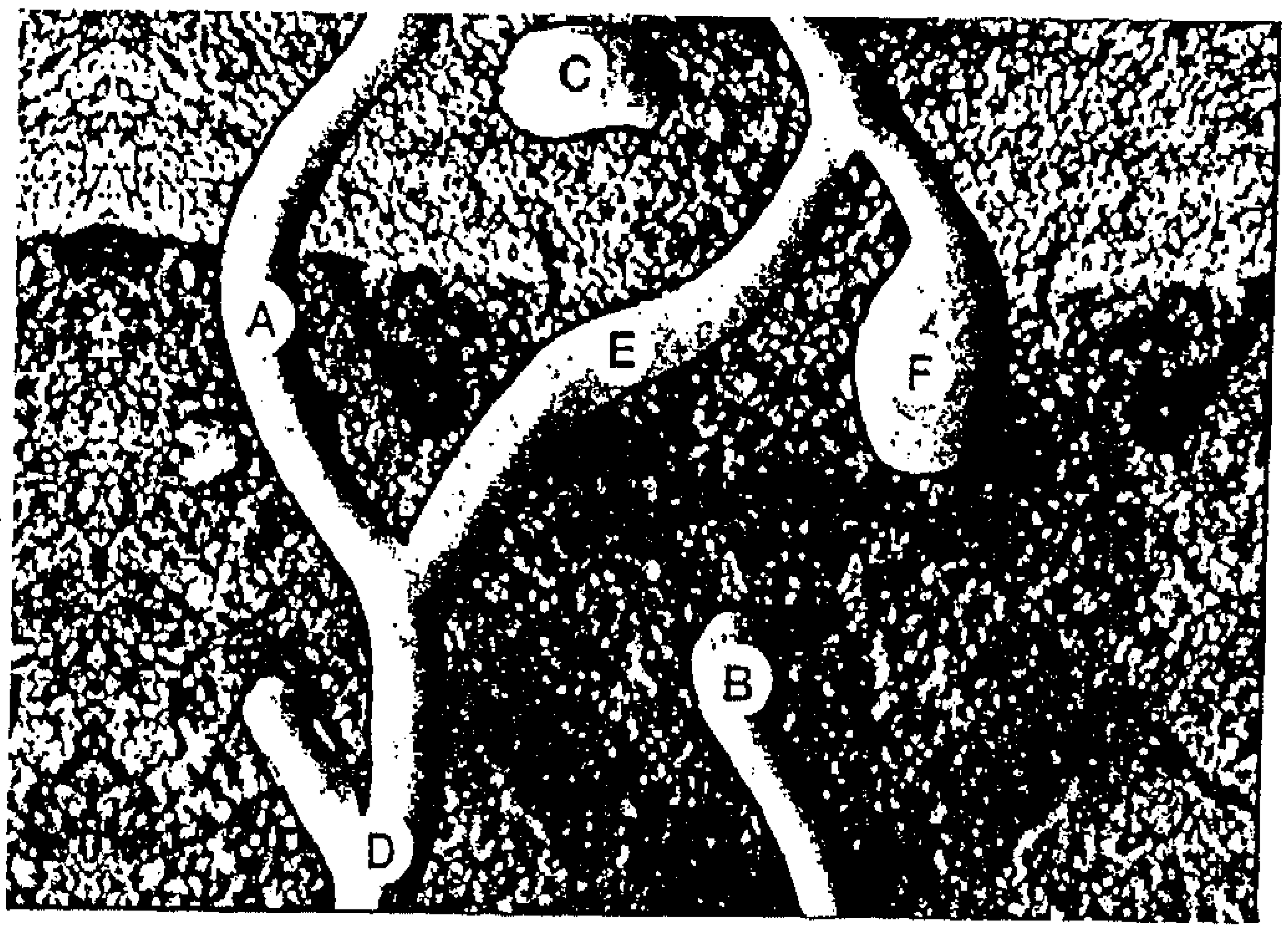
( عن أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا )




شكل رقم ( ١٤ )

يوضح التتابع الطبقى لتكوين الجيوشى والمعادى عند الحافة الجنوبية للهضبة العليا

( عن أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا )




شكل رقم ( ١٥ )

يوضح بعض أنواع المسام فى الأحجار

( Weber., H. عن )

جدول رقم (٣) يوضح مسامية بعض أنواع الصخور

| | نوع الصخر | المسامية % |
|---|---|---|
| صخور نارية | الجرانيت | ٠,٥-١,٥ |
| | البازلت | ٠,١ -١ |
| صخور رسوبية | حجر رملي | ٥-٢٥ |
| | حجر جيرى | ٥-٢٠ |
| | حجر جيرى دولوميتى | ١-٥ |
| صخور متحولة | النيس | ٠,٥-١,٥ |
| | الرخام | ٠,٥-٢ |
| | الكوارتزيت | ٠,١-٠,٥ |

[١] ( After Weber 2000)

## ٤ ) النفاذية Permeability

تعرف بأنها مدى قدرة الأحجار على إنفاذ المحاليل داخلها وهذه الخاصية هامة لأنه كلما زادت نفاذية الأحجار للمحاليل كلما كانت قابليتها للتلف أكبر حيث تستطيع المحاليل الملحية النفاذ داخلها والصعود داخل الأحجار بالخاصية الشعرية مما يؤدى إلى تلفها بفعل الضغوط والإجهادات الناشئة عن تبلور الأملاح [٢] كما أن هذه الخاصية هامة لتحديد نوعية المحاليل المناسبة لعلاج وترميم الأحجار وبصفة خاصة فى عمليات تقوية البنية الداخلية للأحجار حيث يؤدى اختيار المحاليل التى تستطيع النفاذ داخل الأحجار إلى نجاح عملية التقوية للأحجار ويتم حساب نفاذية المحاليل داخل الأحجارحيث يعتمد مدى قدرة انسياب المحاليل خلال الأحجار على نفاذية الأحجار وضغط وكثافة السائل المنساب ويحكم نفاذية المحاليل داخل الأحجار العلاقة التالية: [٣]

$$Q = \frac{UP}{V(L/A)}$$

حيث Q = كمية السائل المتدفق خلال الأحجار بوحدة سم٢ / ثانية .

U = النفاذية

P = الفرق فى الضغط بالبار

V = لزوجة السائل بالسنتى بواز

L = مسافة التدفق أو الانسياب بالسنتيمتر

A = المساحة بالسنتيمتر المربع

( 1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Op. Cit. , 2000,P.19

( 2) Shaffer, R.J. : The Weathering Of Natural Building Stones, Harrison And Soms, London, 1932, P.27

( 3) Weber, H. And Zinsmeister, K.:Op. Cit., 2000, P. 23

### ٥ ) امتصاص الماء Water Absorption

إن معظم حالات تلف الأحجار وغيرها من مواد البناء تحدث بسبب الماء وتنشيطه للتفاعلات التى تحدث داخل الأحجار وعلى سبيل المثال نجد أن الماء يسبب إذابة الغازات الضارة مثل غاز ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ والتى تكون أحماض تؤدى إلى تآكل الأحجار وتنتشر بداخلها من خلال المسام كما يساهم الماء فى حدوث التلف الميكروبيولوجى للأحجار ، وإذا وجد الماء فى فراغات عينة صخرية فقد يكون هذا الماء حر الحركة داخل الفراغات وقد يكون مقيداً بواسطة قوى التوتر السطحى بحيث لا يستطيع الحركة بداخلها [١] والحالة الثانية تحدث غالباً إذا كانت مسامية الصخر منخفضة بسبب صغر حجم الفراغات فإذا غمرت عينة من الصخر فى الماء فإنها لا تمتص منه القدر الذى يملأ الفراغات الموجودة بها ويرجع ذلك إلى أنه عندما تغمر العينة فى الماء فإن جزء من الهواء الموجود بداخل الفراغات ينحصر بها على شكل فقاعات تمنع الماء من أن يشغل جميع فراغات العينة وقد يرجع السبب أيضاً إلى وجود كمية من المعادن الطينية بداخل الفراغات وعند ملامستها للماء الذى يمتص يزداد حجم هذه المواد ليسد الفراغات ويمنع الماء من أن يمتص بالقدر الذى يملأ الفراغات تماماً [٢] ، ونستطيع عن طريق تقدير النسبة المئوية لامتصاص الماء تقييم مدى كفاءة الأحجار ومواد البناء المختلفة حيث تدل النسبة العالية لامتصاص الماء على عدم جودة الأحجار أو مواد البناء المستخدمة ، كما يستخدم امتصاص الماء كذلك فى تقييم المواد الطاردة للماء Water Repellent Materials المستخدمة فى علاج الأحجار وحمايتها من تأثير الرطوبة [٣] وتمتص الأحجار الماء بواسطة الخاصية الشعرية Capillary Rise حيث يرتفع الماء داخل الأحجار من خلال المسام بواسطة الخاصية الشعرية تحت تأثير القوى الشعرية وقوى الشد السطحى Surface Tension and Capillary Forces [٤]

ونجد أن المآذن الأثرية التى بها ارتفاع فى منسوب المياه الأرضية فى التربة تعانى من الرطوبة الزائدة Rising Damp [٥] حيث أن الرطوبة أو المحاليل المائية تنتقل من خلال التربة إلى الأحجار وترتفع فى جدران المبانى الحجرية الأثرية .

ويمكن حساب ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية (H) بالمتر من خلال العلاقة التالية [٦]

$$H = \frac{2\sigma \cos\theta}{rQg}$$

حيث H = Capillary Rise ارتفاع الرطوبة بالخاصية الشعرية بالمتر

$\sigma$ = Surface Tension الشد السطحى $(N.m^{-1})$

θ = Contact Angle Of Fluid With Capillary

زاوية التماس بين الماء والقنوات الشعرية .

---

(١) إبراهيم عبيدو ، الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية ، منشأة المعارف الإسكندرية ، الطبعة السادسة ، ١٩٩٥م، ص٧٦

( 2) Camuffo, D.: Pores, Capillaries And Moisture Movement In The Stone, In : Stone Material In Monuments : Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993,P.29

( 3) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Op. Cit. , 2000,P.22

( 4) Schaffer, R.J. : Op. Cit.,1932,P.38

( 5) Camuffo , D. : Op. Cit., 1993,P.33

( 6) Weber, H. And Zinsmeister, K.:Op. Cit.,2000,P.26

R = Raduis Of Capillary نصف قطر القناة الشعرية

Q = Deinsty Of Fluid (Water) كثافة السائل (الماء)

G = Constant Of Grtavity مقدار ثابت يمثل عجلة الجاذبية الأرضية .

زاوية التماس θ لا يمكن تحديدها بشكل دقيق لذلك يمكن اعتبارها عملياً = صفر° ، لذلك تعتمد قيمة الخاصية الشعرية على العوامل الأخرى [١] ويمكن تبسيط المعادلة الخاصة بحساب الخاصية الشعرية إلى العلاقة التالية

$$H=\frac{1.5}{r}mm$$

والمسام الكبيرة إلى حد ما Macr opores لا يمكن استخدامها للدلالة على الخاصية الشعرية فعلى سبيل المثال نجد أن القنوات الشعرية التى يبلغ نصف قطرها ١٠ $^{-٥}$ متراً يمكن أن تمتلئ حتى ارتفاع ١٥٠ ملليمتر فقط [٢] ونستطيع حساب كمية الماء التى تمتصها الأحجار بواسطة الخاصية الشعرية عن طريق قانون الجذر التربيعى للزمن الذى حدث فيه الامتصاص (التشبع) ويعتمد ذلك على عدة عوامل هى نصف قطر القنوات الشعرية والكثافة والشد السطحى للماء وذلك طبقاً للعلاقة التالية :-

$$X=\left(\frac{\sigma r}{2n}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{t}=A\sqrt{t}$$

حيث x = كمية الماء الممتص

$\sigma$ = الشد السطحى للسائل (الماء)

n = لزوجة الماء

A = مقدار ثابت

r = نصف قطر القنوات الشعرية

t = زمن الامتصاص

وهناك علاقة (صيغة ) بسيطة Similar formula لحساب كمية الماء الممتص وهى كالتالى :-

$$W=w\sqrt{t}$$

حيث W = كمية الماء الممتص بوحدة كجم / م٢

W = معامل امتصاص الماء

T = زمن الامتصاص

ويعرف معامل الامتصاص (w) على أنه كمية الماء الممتص عن طريق المسام بواسطة الخاصية الشعرية لكل م٢ من الأحجار أو مواد البناء [٣] وتعتبر عاملاً أو مقياساً لتقييم مدى كفاءة مواد البناء المختلفة سواء الأحجار أو المونات وكذلك عن طريقها نستطيع تقييم مدى كفاءة المواد الطاردة للماء Water Repellent Materials المستخدمة لعلاج الأحجار ومواد البناء المختلفة [٤]

---

(1) Winkler, E.M., Op. Cit., 1973, P.13

(2) Camuffo, D. : Op. Cit., 1993, P.27

(3) Weber, H. And Zinsmeister, K. :Op. Cit., 2000,P.28

(4) Comuffo, D.: Op. Cit., 1993,P.36

## ثانياً : الخواص الميكانيكية للأحجار Mechanical Properties Of Stones

يتوقف اختيار الحجر الجيرى كمادة بناء على ما يتميز به من خواص ميكانيكية حيث تتباين وتختلف كثيراً الأنـواع المختلفة من الأحجار الجيرية فى خواصها الميكانيكية تبعاً لظروف نشأتها وترسيبها والتكوينات المعدنية والنسـيج الصخرى لها [١] وتشتمل الخواص الميكانيكية على قوة مقاومة الصخور Strength of Rocks للأنواع المختلفة من الإجهادات والإجهادات المؤثرة على الصخور تنقسم إلى أربعة أنواع هى :-

أ- إجهادات الضغط Compressive stresses

ب- إجهادات الشد Tensile stresses

جـ- إجهادات القص Shear stresses

وبصفة عامة لا تستخدم الأحجار فى أجزاء المبنى أو فى العناصر التى قد تتعرض لقوى الشـد حيث لا تقـوى الأحجار على مقاومة إجهادات الشد .

## أ ـ قوة تحمل الصخور للضغط Compressive strength

تعرف قوة تحمل الصخر للضغط على أنها إجهادات الضغط اللازمة لكسر عينة منه تحت تأثير قوة ضغط محورية بشرط عدم تعرض جوانب العينة لأى نوع من القوى ومن العوامل التى تحدد قوة تحمل الصخر للضغـط درجـة التشبع بالماء حيث تقل هذه القوة كلما ازدادت درجة التشبع [٢] وهى تزداد بزيادة مسامية الصخر وبالتالى تقل قـوة مقاومته للضغط وكذلك تقل قوة التحمل للضغط بزيادة نسبة الامتصاص للصخر[٣] وتتوقف قوة تحمـل الصخـور للضغط على التركيب الحبيبى لكل منها ؛ فكلما صغرت أحجام الحبيبات التكوينة للصخر كلما ازدادت قوة تحملـه للضغط ويظهر ذلك فى الأنواع المختلفة من الحجر الرملى ، ونجد أن الصخور النارية والمتحولة تكون أقوى علـى تحمل الضغط لأن بلوراتها مترابطة أما فى الصخور الرسوبية فبالإضافة إلى التركيب الحبيبى لـها فـإن المـادة اللاحمة بين الحبيبات تحدد مدى تحمل الصخر للضغط فإذا كانت المادة اللاحمة طينية فإن الصخر تقـل مقاومتـه لتحمل الضغط وقد يكون ذلك سبباً فى ضعف الحجر الجيرى على مقاومة الضغط إذا تخلل تركيبة طبقات رقيقة من الطين [٤] أما إذا كانت المادة اللاحمة فى الصخر الرسوبى هى الكوارتز اكسبه ذلك قوة كبيرة لتحمل إجهاد الضغط بالمقارنة بالأنواع الأخرى من المواد اللاحمة وتتأثر قوة تحمل الصخر للضغط إلى حد كبير بوجود تشـققات بـه والتى تصعب رؤيتها بالعين المجردة فى معظم الأحيان .

## ب ـ قوة تحمل الصخور للشد Tensile Strength

تعتبر قوة تحمل الصخور للشد ضعيفة وعلى سبيل المثال فإن قوة تحمل الجرانيت للشد لا تتجاوز ¼ من قوة تحمله للضغط حيث أنها لا تزيد عن ٧٠ كجم / سم٢ فى حالة الشد أما الرخام فقوه تحمله للشد تتراوح بين ٥٠كجم /سم٢ و ٦٥ كجم/سم٢ وتتناقص هذه القوة فتصبح حوالى ٣٥كجم / سم٢ بالنسبة للحجر الجيرى .

---

( 1) Mills, R.: Structural Failure And Repair, In : Consvation Of Buildings And Decorative Stone, Vol. 2, London, 1990, P.58.

(٢ ) إبراهيم عبيدو ، مرجع سابق ، ١٩٩٥ م ، ص٨٣

( 3) Weber, H. And Zinsmeister, K. : Op. Cit., 2000,P.22

( 4) Mills, R. : Op. Cit., 1990,P.59

## جـ - قوة تحمل الصخور للقص ShearStrength

يمكن تمثيل قوة تحمل الصخور للقص بمكعبات من الصخر وضع أحدها فوق الأخر وضغطاً إلى بعضهما بقوة راسية وكان المكعب السفلى مثبتاً بينما تعرض العلوى لقوة أفقية مؤثرة فإنه ينشأ على القوتين الراسية والأفقية إجهادات ضغط وإجهادات قص (١) تؤثر على السطح الفاصل بينهما ويمكن حساب إجهادات القص حيث تساوى ناتج قسمة القوة المؤثرة الأفقية على مساحة مقطع العينة وتقاس بوحدات كجم / سم٢ . ونلاحظ أن مكعبى الصخر فى المثال السابق تقاومان قوة القص عن طريق الاحتكاك المباشر بين سطحيهما أما فى حالة الكتلة الواحدة من الصخر فإن مقاومتها للقص تنشأ عن التلاحم بين حبيبات الصخر وكذلك الطريقة التى توجد بها الحبيبات متجاورة داخل العينة .(٢)

## الإجهادات المسموح بها فى الإنشاء

استخدمت الأحجار الجيرية كمادة بناء أساسية فى المآذن الأثرية ونظراً لعوامل التلف المختلفة التى تتعرض لها هذه الأحجار والتى تؤثر على قوة تحملها للإجهادات المختلفة لذلك فلابد من دراسة الإجهادات المختلفة التى تؤثر على أحجار المآذن الأثرية حيث لا يسمح بوجود أحمال تتولد عنها إجهادات مساوية لقوة تحمل الأحجار سواء كان ذلك فى إجهادات الضغط أو القص وإنما يجب أن تكون الأحمال المؤثرة والإجهادات التى تنشأ عنها أقل بكثير من قوة تحمل الأحجار لهذه الإجهادات وتسمى النسبة بين قوة تحمل الصخر وإجهادات التصميم بمعامل الأمان ويختلف معامل الأمان عددياً تبعاً للغرض المستخدمة فيه الأحجار فإذا كانت الأحجار مستخدمة لعمل أساسات للمآذن الأثرية فيتراوح معامل الأمان فى هذه الحالة بين ١٥،٣٠ أما إذا استخدمت الأحجار فى أعمال البناء للمآذن فيجب أن يتراوح معامل الأمان بين ٦،١٠ وذلك حتى لا تتعرض المآذن الأثرية لخطر الانهيار .(٣)

## مرونة الصخور Elasticity of Rocks

إذا تعرض جسم لإجهادات من نوع معين (Stresses) صاحب ذلك تغير فى شكل هذا الجسم فإذا كانت هذه الإجهادات هى إجهادات ضغط نشأ عن ذلك انضغاط فى طول العينة الموازى لاتجاه الإجهادات وانبعاج فى الاتجاهات العمودية عليه أما إذا كانت الإجهادات هى إجهادات شد استطال الجسم فى اتجاه الإجهادات وانكماش فى الاتجاهات العمودية وإجهادات القص يصاحبها تغير فى الزوايا التى تصنعها الخطوط التى توصل بين نقط معينة من الجسم والانفعالات (strains) هى وسيلة للتعبير عن التغير الذى يطرأ على شكل الجسم المعرض للإجهادات ودائماً يصاحب كل إجهادات من نوع معين انفعالات من نفس النوع وعند تخلص الجسم من القوى الخارجية الواقعة عليه فقد يصاحب ذلك أن يستعيد الجسم شكله الأصلى أو أن يستعيد فقط جزءاً من التغير الذى طرأ عليه عند تعرضه لهذه الإجهادات ، والجسم المرن Elastic هو الجسم الذى يستعيد كل تغير طرأ عليه تحت تأثير نوع معين أو عدة أنواع من الإجهادات عند إزالة هذه الإجهادات على أن يكون ذلك لخطياً فى نفس الوقت الذى تزال فيه الإجهادات. والصخور عند تحميلها بحمل معين يتبع ذلك تغير فى أبعادها أو شكلها وعند إزالة هذا الحمل فإن العينة تستعيد جزءاً من هذا التغير ويبقى الجزء الأخر ويجب أن يكون الحمل المؤثر دائماً أقل من الحمل اللازم لإحداث تشققات أو أسطح انهيار فى الصخر.(٤)

---

(١) إبراهيم عبيدو : مرجع سابق ، ١٩٩٧م ، ص ٨٦

(٢) إبراهيم عبيدو : الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية ، منشأة المعارف الإسكندرية ، ط٦ ، ١٩٩٥م ، ص ٩٤

(٣) بطرس عوض الله وأخرون فن البناء ، الجزء الثانى ، مطابع دار الشعب ، ١٩٨٩م ، ص٦٤

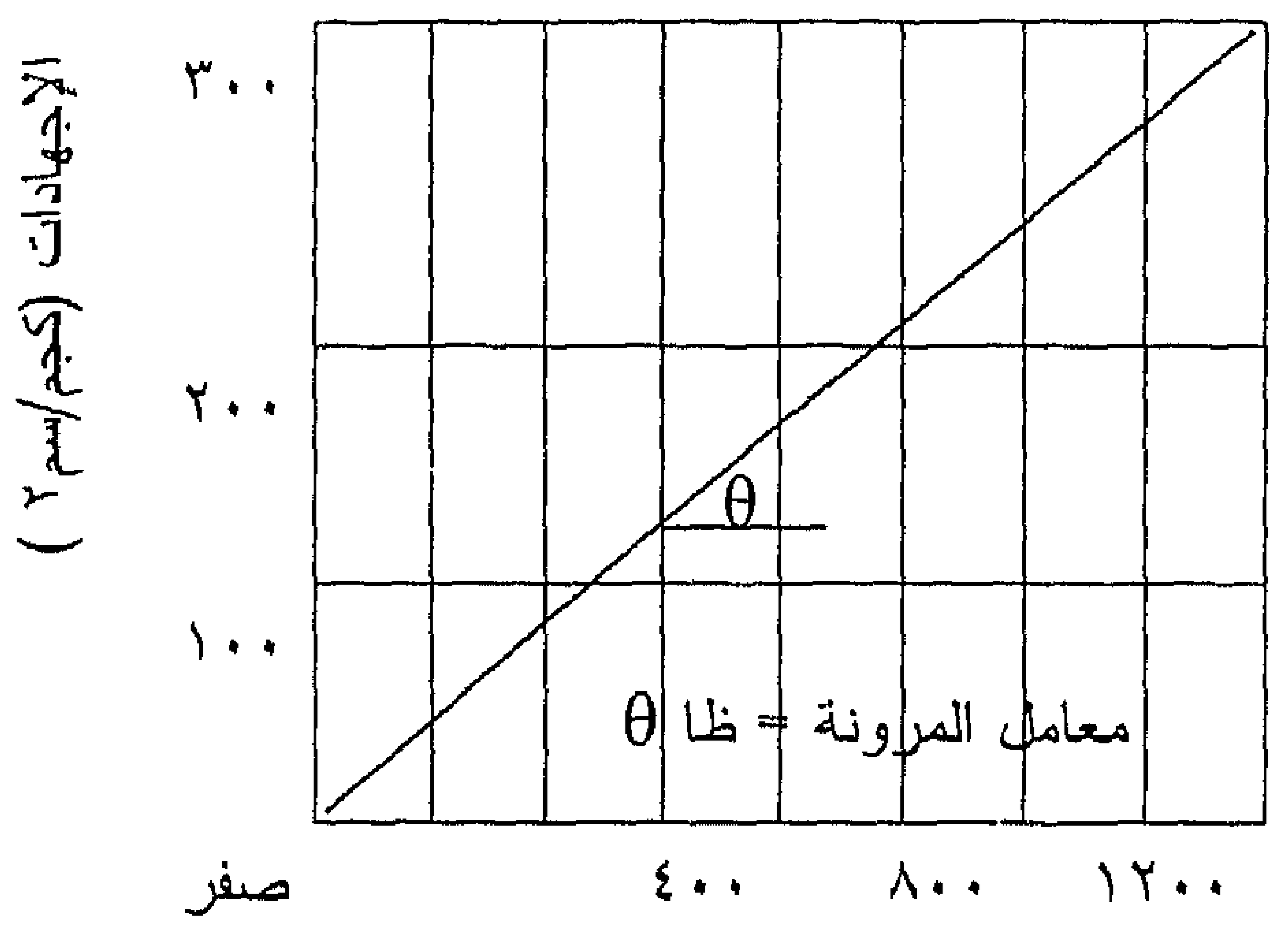
(٤) إبراهيم عبيدو ، مرجع سابق ، ١٩٩٥م ، ص٩٨

## معامل المرونة Modulus of Elasticity

إذا ضغطت عينة من الأحجار ثم قيست الانفعالات التى تنتج عن قدر معين من الإجهادات نجد أن إجهادات الضغط أو الشد تتناسب طرديا مع الانفعالات الطولية التي تنشأ عنها [1] وبرسم قيم الإجهادات التى تتعرض لها العينة على محور والانفعالات الناتجة على محور آخر متعامد على المحور الأول كما بالشكل رقم (١٨) كانت العلاقة بينهما محدودة بخط مستقيم يمر بنقطة الأصل للمحورين المتعامدين ، ويعرف معامل المرونة فى هذه الحالة على أنه الثابت الذى يظهر فى معادلة الخط المستقيم الذى يحدد العلاقة بين الإجهادات والانفعالات الطولية ، أى أن

$$\text{معامل المرونة } (E) = \frac{\text{الإجهادات الطولية}}{\text{الانفعالات الطولية}} = \text{......... كجم / سم}^2$$

حيث يميز معامل المرونة بنفس الوحدات التى تميز الإجهادات [2]




الانفعالات (أجزاء من المليون) (عن إبراهيم عبيدو ، ١٩٩٥ )

شكل رقم (١٦) يوضح العلاقة بين الاجهادات والانفعالات

## ٢ - الطوب المحروق ( الآجر ) Fired Bricks

استخدم الطوب المحروق خلال العصور الاسلامية المختلفة فى بناء المآذن الأثرية سواء بشكل كامل أو فى بناء أجزاء من المآذن الأثرية وذلك إلى جانب استخدام الحجر الجيري ونجد أن مئذنة جامع أحمد بن طولون الأصلية بنيت من الطوب المحروق ( الآجر ) مثل بقية العناصر المعمارية بالجامع ثم أعيد بنائها فى العصر المملوكى فى عام (٦٩٦هـ/١٢٩٦م) من الحجر الجيري خلال عصر السلطان المملوكي لاجين السيفي لوحة رقم (٢) واستمر استخدام الآجر فى بناء المآذن الأثرية خلال العصر الفاطمى ومثال ذلك مئذنة أبى الغضنفر (٥٥٢هـ/١١٥٧م) لوحة رقم (١٦) ومئذنة جامع الجيوشى (٤٧٨هـ/١٠٨٥م) لوحة رقم (٣) والأيوبي ومثال ذلك مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين ايوب (٦٤١هـ/١٢٤٣م) لوحة رقم (٦) ثم قل استخدامها بعد ذلك خلال العصر المملوكي وإن

---

(١) محمود توفيق سالم : أساسيات الجيولوجيا الهندسية ، دار الراتب الجامعية، بيروت ، ١٩٨٥م، ص٦٨

(٢) إبراهيم عبيدو ، مرجع سابق ، ١٩٩٥م ، ص٩٩

استخدمت جنبا إلى جنب مع الحجر الجيري خلال العصر العثمانى وذلك لبناء بعض المــآذن الأثريــة بأكملــها أو استخدامها لبناء قمم المآذن العثمانية المدببة نظرا لمميزاتها البنائية المختلفة .

## صناعة الطوب المحروق ( الآجر ) المستخدم فى بناء المآذن الأثرية

## Manufactoring Of Fired Bricks Using In Building Of Archaeological Minarets

كانت تتم عملية صناعة الطوب المحروق ( الآجر ) المستخدم فى عمليات البناء للمآذن الأثرية من خــلال ثــلاث مراحل هى :

١-إعداد وخلط المواد الخام Raw Materials

٢-عملية التشكيل داخل القوالب Shaping process in moulds

٣-عملية الحرق فى القمائن[1] Firing process in Kilns

نجد أنه كان يتم إعداد المواد الخام اللازمة لتصنيع الطوب المحروق من طمى النيل ويتكون الطمى مــن المعــادن الطينية مثل الكاولينيت $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$Kaolinite

والمونتيمورلينيت Montmorillonite $Mg,Al(OH)(H_2O)$ Silicate

والايلليت[2] Illite $K,Mg,Al(OH)$ Silicate

ويحتوى الطمى على نسب متفاوتة من معادن أخرى مثل الكوارتز $SiO_2$ والفلسبار مثــل الأرثوكلــيز $KalSi_3O_8$ والألبيت $NaAlSi_3O_8$ والأنورثيت[3] $CaAl_2Si_2O_8$ وكذلك معدن الكالسيت $CaCO_3$ وحبيبات معادن الطفلــة تكون صغيرة جدا وقد تكون أقل من (٢) ميكرون ويتراوح قطر حبيبات خليط الطفله بما فيه من معادن من (٢) مم حتى اقل من (٢١) ميكرون[4] ويعتبر الطمى والذى يؤخذ من النيل هو التكوين الأساسى لصناعة الطوب المحروق (الأجر) خلال العصور الإسلامية المختلفة ثم يتم خلط طمى النيل مع الرمل جيدا مع إضافة نسبة من مادة عضويــة وأهم المواد التى أضيفت هى التبن المفرط وروث الحيوانات والشعر الحيوانى وذلك لجعــل الخلــط متجانســا ولا يتعرض من للتشقق عند الجفاف ويكون إضافة هذه المواد ضروريا عندما تكون نسبة الطفلة (المعادن الطينية ) قليلة فى خليط صناعة الطوب ، وتتوقف خاصية اللدونه والتماسك على كمية الطفلة الموجودة فعندما تكون النسبة عاليــة يصبح الطوب المصنع على درجة عالية من التماسك وقد لا يحتاج فى هذه الحالة إلى إضافة مواد عضوية أمــا إذا كانت نسبه الطفلة قليلة نجد أن الطوب المصنع يتقلص عند الجفاف وينكمــش محدثــا تشــققات وشــروخ فــى[5] الاتجاهين الرأسى والأفقى ، وبعد خلط التكوينات جيدا تترك لمدة ٧٢ ساعة على الأكثر حيث يتم تشكيله فى قوالــب من الخشب مفتوحة من الجهتين ويوضع فى صفوف منتظمة تمهيدا لإجراء عملية الحرق داخل القمائن ، حيث كــان

---

(1) Palmer , L. A. And Parsons , D.A: A Study Of The Properties Of Morter And Bricks And Their Relation To Bond , London , 1965 , P. 12

(٢) محمد عز الدين حلمى ، علم المعادن ، مكتبة الأنجلو المصرية ، ١٩٨٤ م ص ٤٠٣

(٣) محمد عز الدين حلمى : مرجع سابق ، ١٩٨٤ م، ص ٤١٧

(4) Robinson, G.C.: Characterization Of Bricks And Their Resistance To Deterioration Mechanisms, In: Conservation Of Historic Stone Buildings And Monuments, National Academy Press, Washington, D.C.,1982,P.146

(٥) الفريد لوكاس : المواد والصناعات عند قدماء المصريين ، ترجمة زكى إسكندر ، محمد زكريا غنيم الهيئة المصرية العامــة للكتاب ، ١٩٤٥ م، ص ٨٨-٨٩ .

يستخدم الوقود الطبيعي من الألياف النباتية للحصول على درجة الحرارة المطلوبة للحرق وإنتاج الطوب المحروق (الأجر) الذى كان يؤخذ بعد ذلك لإستخدامه فى بناء المبانى الأثرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية.

## بناء المآذن الأثرية بالطوب المحروق (الآجر)

## Building Of Archaeological Minarets by Fired Bricks

بنيت المآذن الأثرية باستخدام الطوب المحروق (الآجر) سواء بشكل كامل أو فى بعض أجزائها وذلك نظراً للمميزات المختلفة للآجر حيث توافرت فى مصر المواد الخام اللازمة لصناعته كما أنه يمتاز بصغر الحجم مما يسهل من عملية نقلة من القمائن إلى مواقع البناء وكذلك انتظام الشكل الناتج عن [١] البناء به لذلك استخدم بكفاءة عالية فى بناء التفاصيل المعمارية المختلفة فى المآذن الأثرية وخاصة القمم المدببة فى المآذن العثمانية الطراز كما يمكن وضعه فى أماكن أثناء عملية البناء به .

## إعداد الطوب المحروق (الآجر) لعملية البناء

## Preparing Of Fired Bricks For Building Process

يبلل الطوب قبل البناء به خصوصاً فى جو مصر الحار الكثير الأتربة وذلك لسببين هما :-

١- إذا بنيت القوالب بدون عملية بلل بالماء فإنها لا تتماسك مع المونة المستخدمة للبناء تماسكاً جيداً وذلك لوجود طبقة من الأتربة تحول دون تماسك أسطح القالب بالمونة .[٢]

٢- إذا بنيت القوالب بدون بلل فإنها تمتص معظم الماء الموجود بالمونة مما يسبب جفاف المونة فى وقت اقل من وقت الشك (التصلب) اللازم[٣] وبذلك تتشقق المونة وتفقد متانتها وتماسكها. [٤]

## ٣ - الرخام Marble

استخدم الرخام كمادة بناء لها وظيفة إنشائية وذلك فى مآذن العصر المملوكى حيث كانت تستخدم أعمدة من الرخام عددها غالباً ثمانية أعمدة تحمل الجوسق مثال ذلك مئذنة مدرسة صرغتمش ، لوحة رقم (١٠) ومئذنة مسجد الطنبغا الماردانى ، لوحة رقم (٢١) ، كما استخدم الرخام فى الأغراض الزخرفية فى المآذن خاصة خلال العصر المملوكى الجركسى (٧٨٤ هـ / ٩٣٣هـ - ١٣٨٢م / ١٥١٧م) وذلك فى عمل تلابيس من الرخام على السطح الخارجى لبدن المئذنة لزخرفته وقد تكون هذه التلابيس الرخامية مزخرفة (منزلة) بالمعجون الملون ومن أمثلتها مئذنة مدرسة القاضى يحيى زين الدين بالأزهر (١٤٤٨م) حيث زخرفت المنطقة العليا المثمنه للمئذنة بقطع من الرخام ، وكذلك مئذنة السلطان الغورى ذات الرأسين بالجامع الأزهر ، صورة رقم (١٥) [٥] ، والرخام صخر متحول

---

(١) حسين محمد أمين وأخرون : فن البناء ، الجزء الأول ، فى أصول الصناعة لأعمال البناء والنحت ، المطابع الأميرية، ١٩٩٠م ، ص١٢ .

(2) Martin, H..D.: Adhesion Mechanisms In Masonry Mortarts, Msthesis, Clemsonuni., Clemson, S.C.,1965,P.63 .

(٣) حسين محمد أمين وآخرون : المرجع نفسه ، ١٩٩٠ ، ص ١٧ .

(4) Robinson, G.C.:Op.Cit.,1982, P.152 .

(٥) كمال الدين سامح : العمارة الإسلامية فى مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة ١٩٩١م ، ص ٢٠٤.

عن صخر جيرى يتكون من حبيبات الكالسيت بصفة عامة ولكن فى بعض الأحوال Metamorphic Rock النادرة قد يتكون من الدولوميت والحبيبات التكوينة للرخام قد تكون صغيرة جداً لدرجة لا يمكن تمييزها بالعين المجردة وقد تكون كبيرة خشنة حتى أنه يمكن تمييز انفصام الكالسيت بسهولة(١) والرخام المتحول عن الصخور الجيرية يكون ذو تركيب متجانس وله جودة فنية وتقنية عالية فى التشغيل نظراً للتركيب الذى يتميز به والذى يشبه حبيبات السكر و لذلك يسمى بالتركيب السكرى Saccharoidal Structure ويقاوم الرخام التغيرات الجوية والضغوط الميكانيكية والأحمال الراسية بشكل أفضل من الصخور الجيرية (٢) ولذلك كان يستخدم فى المآذن الأثرية إنشائياً فى حمل منطقة الجوسق فى أعلى المآذن الأثرية المملوكية الطراز، وكلما كان الرخام خالياً من الشوائب يكون أبيض اللون بينما تؤدى هذه الشوائب المعدنية إلى وجود ألوان فى الرخام وكلما زادت الشوائب المعدنية كلما قلت مقاومته لعوامل التلف وقلت قدرته على مقاومة الضغوط الميكانيكية والأحمال الراسية لأن أماكن وجود الشوائب المعدنية فى الرخام تكون أماكن ضعيفة قد تتعرض لحدوث شروخ وانفصالات قد تؤدى إلى انهيار الأعمدة فى المآذن الأثرية وبالتالى الجوسق الذى تحمله هذه الأعمدة ولذلك فطن المعمارى المسلم لذلك واختار الرخام الأبيض ذو الصلادة العالية والذى لا يحتوى إلى حد كبير على شوائب معدنية تؤثر فى صلادته وصنع منه الأعمدة المستخدمة لحمل الجوسق فى المآذن الأثرية المملوكية . وهناك أنواع من الصخور الجيرية تشبه الرخام فى مظهرها إلا أنها تختلف فى أصلها الصخرى لأن الرخام صخر متحول بينما أشباه الرخام صخور رسوبية وبالتالى تكون أقل صلادة من الرخام وتتميز أشباه الرخام بألوان عديدة ترجع إلى الشوائب المعدنية الموجودة بها وقد اتخذت أسماء إيطالية فى السوق المصرى نظراً لتشابهها مع الأنواع الإيطالية ومنها البوتشينو ويوجد بمنطقة الزعفرانه على ساحل البحر الأحمر وهو وردى اللون والبرلاتو ومنه الكريمى والأبيض ويوجد غرب المنيا وغرب أسيوط.(٣)

## مصادر الرخام المستخدم فى المآذن الأثرية

## Sources of Marble Using in The Archaeological Minarets

للرخام المستخدم فى المآذن الأثرية عدة مصادر منها مصادر محلية ومصادر أجنبية وهذه المصادر هى :-

١- يتم الحصول على الرخام الذى تم استخدامة قبل ذلك فى عمائر أخرى قد تكون متهدمة حيث يتم تجهيز وإعداد الوحدات الزخرفية المستخدمة فى زخرفة الأسطح الخارجية لبعض المآذن الأثرية منها كما يتم الحصول على الأعمدة الرخامية القديمة وإعدادها بالمقاسات والأطوال المطلوبة لاستخدامها فى حمل الجوسق فى المآذن المملوكية .

٢- مصادر خارجية واشهرها الرخام الكرارة الإيطالى ويجلب من جنوب إيطاليا كما كان يجلب الرخام من دمشق وفلسطين وقبرص وجزيرة كريت وكذلك من حلب ويعرف بالرخام الحلبى .

---

(١) محمد عز الدين حلمى : علم المعادن ، مكتبة الانجلو المصرية ، ١٩٨٤م ،ص٢٤١ .

(2) Luciana And Tiziano, M.: Marble , The History Of A Culture, Factson File Publications, New York, Oxford, England, 1985, P.37 .

(٣) عبد العظيم رشوان : جيولوجيا ومواصفات أحجار البناء وأحجار الزينة ، ندوة تكنولوجيا استخدام الأحجار الطبيعية (الرخام والجرانيت) ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، يناير ، ١٩٩٩م ص٥ .

٣- مصادر محلية وهى المصادر الموجودة فى مصر وأهمها منطقتين هما منطقتى أبو سويل بالصحراء الشـــرقية خريطة رقم (٥) والدغبج والجندى بالقرب من وادى المياه .[١]

## أولا : الرخام في منطقة ابو سويل

## Marble in Abu-Swayel Area

يمكن تقسيم الرخام في هذه المنطقة خريطة رقم (٥) الي سبعة أقسام حسب تركيبه المعدني وهم :

### ١) الرخام الجرافيتي Graphite Marble

ويعتبر الرخام الجرافيتي من اهم الانواع السائدة في منطقة ابوسويلي في الصحراء الشرقية وهذا الرخام يختلف فـي لونه ما بين الرمادي الي الاسود وعامة فان الجرافيت ينتشر في شكل متجانس او علي هيئة بقـــع غـــير منتظمـــة والرخام الجرافيتي يتكون اساسا من الكالسيت والدولوميت مع نسبة من الجرافيت ٠

### ٢) الرخام التريموليتي Tremolitic Marble

ويتراوح لونه من الابيض الي الاصفر ويتكون اساسا من معادن الكالسيت والدولوميت والـــتريموليت مـــع نســـبة صغيرة من الكوارتز والاكينتوليت الي جانب شوائب من الفليجوبيت ٠

### ٣) الرخام الجرافيتي التريموليتي Tremolite Graphite Marble

وهذا الرخام لونه ابيض يميل الي الرمادي وحجم حبيبات الكربونات يتراوح من الدقيق الي الخشن وهـــو يتكـــون اساسا من الكالسيت والدولوميت وكمية قليلة من الجرافيت بالاضافة للتريموليت ٠

### ٤) الرخام الفورشتيرتي التريموليتي T remolite Forsterite Marble

ويتراوح لونه من الرمادي الي البني الي الأخضر المصفر وغالبا فان حجم الحبيبات يتراوح مـــن المتوســـط الـــي الدقيق وهو يتكون أساسا من الكالسيت والدولوميت متحدين مع التريموليت اما الفورستيريت فيوجد كبلـــورات بـــها شروخ وتتحول جزئيا الي السربنتين عند حدودها وشروخها مكونة الرخام السربنتيني ٠

### ٥) طبقات الشست المتبادل مع الرخام

### Banded Hornblend Schist with Marble Laminae

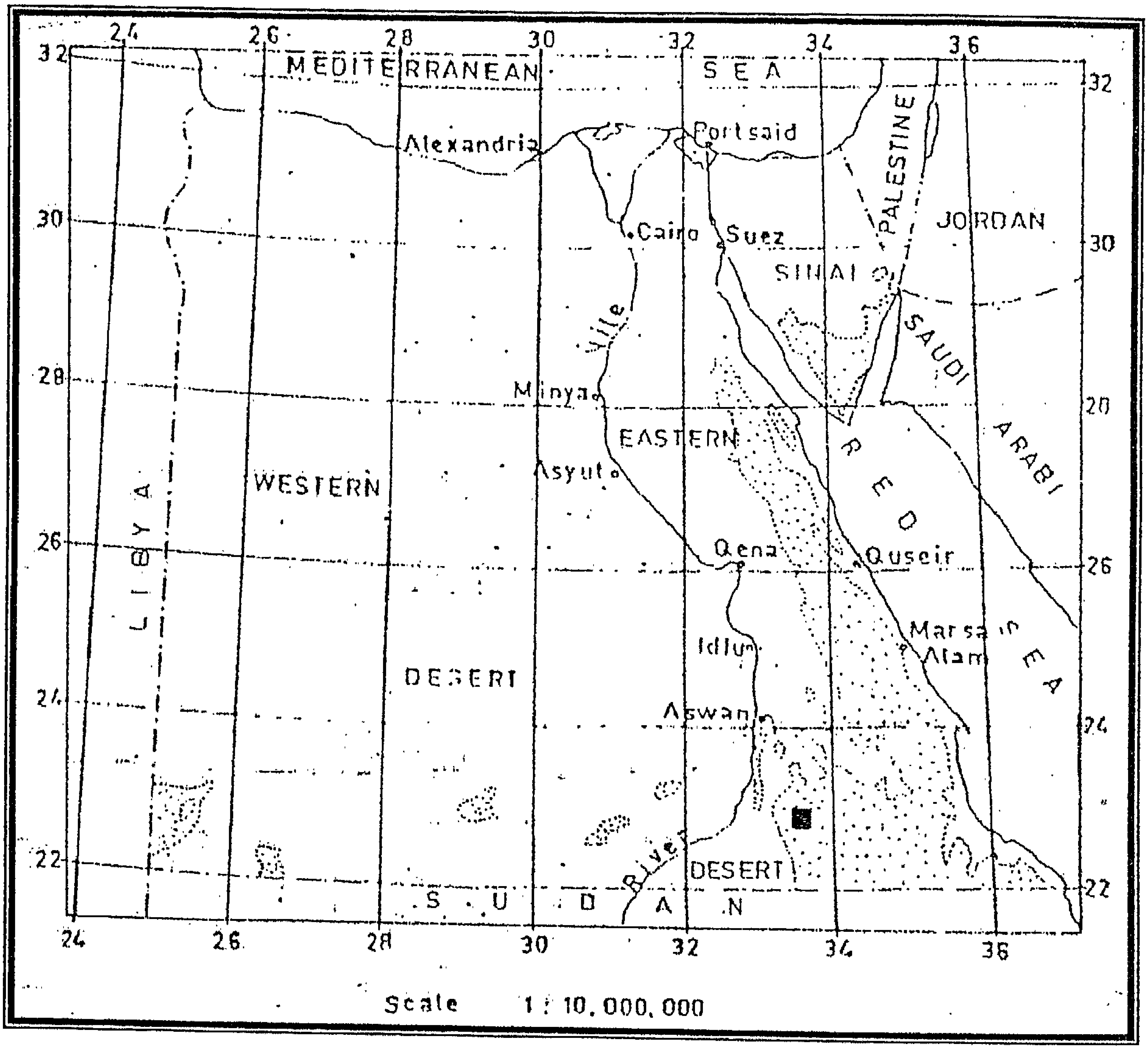
ويعتبر اقل شيوعا مقارنة بالانواع الاخرى ووجوده الرئيسي في وادي حيمور بالصحراء الشرقية[٢]

---

(١) لمزيد من التفاصيل أنظر :-

- El- Ramly, M.F, And El- Meneisy, M.Y.: Petrology Of Carbonates And Associated Rocks Of ‹Abu – Swayel Area, South Eastern Desert, Annals Of The Geological Survey Of Egypt, VOL., X C ‹airo١٩٨٠.
- Abd – El – Aal, F. Amer And Ahmed O. Mansour Geology Of El – Daghbag And El- Ginidi District, Ministry Of Industruy, Geological Survey And Mineral Research Dep., Geological ‹Survey Of Egypt١٩٥٨.

( 2) El- Ramly , M. F. & Meneisy , M. Y. : op. Cit , 1980, P. 699




خريطة رقم (٥) توضح موقع منطقة ابو سويل من جمهورية مصر العربية

(عن الرملي والمنيسي ، ١٩٨٠م)

وهذا الرخام يتكون من طبقات الشست الهورنبلندي متناوبة مع الرخام وهي تتكون اساسا من الكالسيت والــهورنبلند والاكتينوليت والكوارتز وكمية قليلة من الفلسبارات والمعادن المعتمة •

### ٦) الرخام الكوارتزي Quartz Marble

ويوجد في جنوب منطقة ابو سويلي وهو يتكون اساسا من معدن الكالسيت وبعض المعادن المعتمة مع نســـبة مـــن الكوارتز

### ٧) الرخام النقي Pure Marble

وهو يتكون اساسا من معدني الكالسيت والدولوميت مع كمية قليلة من اكاسيد الحديد وكسر معادن السليكات(١)

## ثانيا : الرخام فى منطقتي الدغبج El -Daghbag والجندي El-Gindi

تعتبر منطقتي الدغبج والجندي من اهم المناطق للحصول علي الرخام في مصر خريطة رقم (٦) وقد عرف في هذه المنطقة موقعين للتحجير للحصول علي الرخام هما :

أ – رواسب الرخام في وادي الدغبج Wadi El-Daghbag ( الشيخ عطيف او المحجر القديم
(Sheik Oteif or the old marble quarry

ب – رواسب الرخام في جبل الرخام Gabal El-Rukham

### اولا : رواسب الرخام في وادي الدغبج :

وتقع هذه المنطقة بين وادي الدغبج ووادي الجندي شمال وادي المياه North of Wadi El-Miyah وهي تتكـــون من طبقات من الرخام الابيض وطبقات اخرى من رخام ذو لون اسود وبني وهي توجد فوق طبقات مـــن الشســت Schist وقد كانت نتيجة التحليل الكيميائي لهذه الرواسب (٢) من الرخام كما في الجدول التالي:

جدول رقم (٤) يوضح نتيجة التحليل الكيميائي لرواسب الرخام فى وادى الدغبج

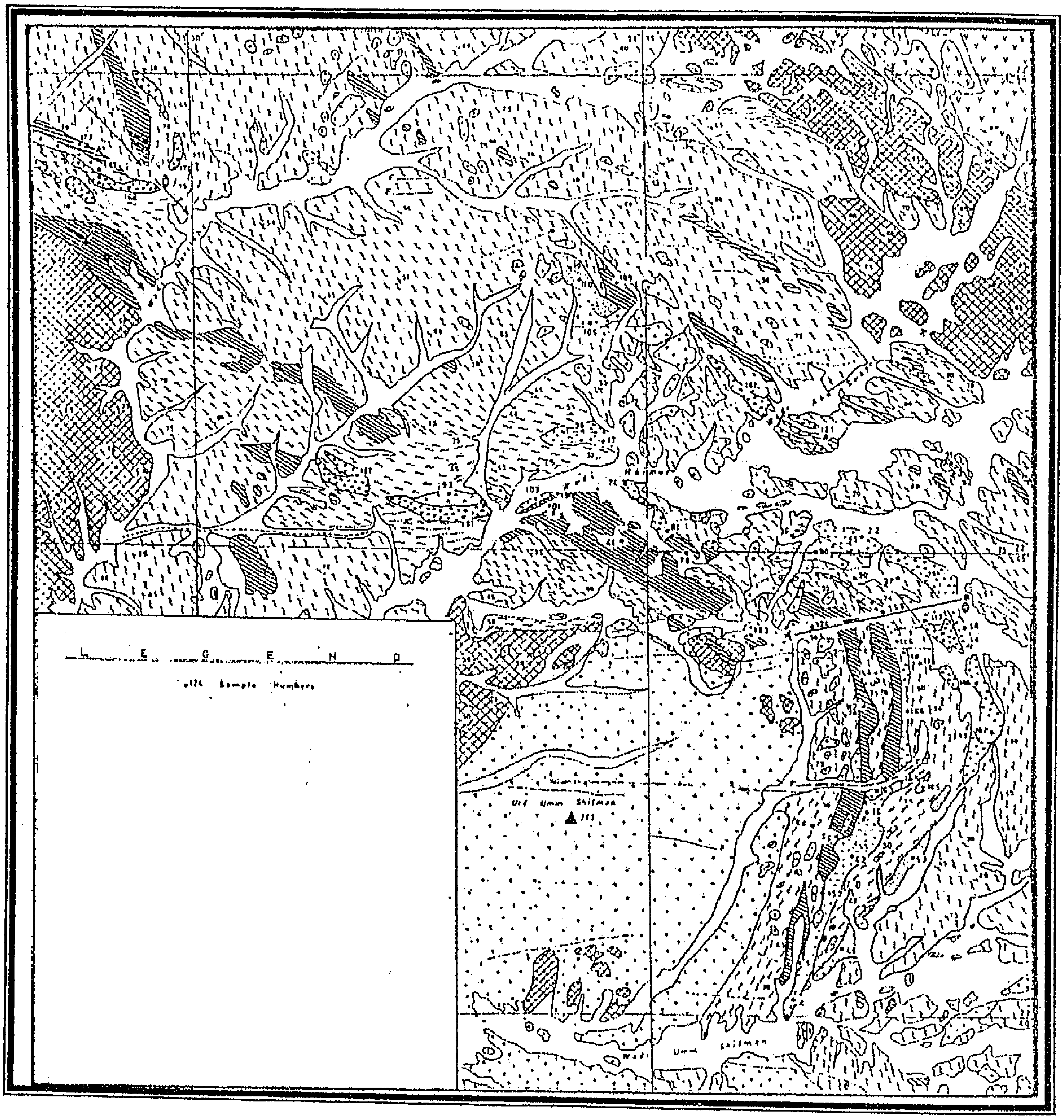
| Component | % |
|---|---|
| Insoluble matter | 2.35 |
| $CaCO_3$ | 60.4 |
| $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ | 0.18 |
| $MgCO_3$ | 34.7 |
| $Mg(OH)_2$ | 2.9 |
| NaCl | 0.23 |
| $SO_3$ | Nil |

(After Abd El- Aal F. Amer , 1958)

---

( 1) El- Ramly , M. F. & Meneisy , M. Y. : op. Cit , 1980, P. 703

( 2) Abd El- Aal F. Amer & Ahmed , O. Mansour : Geology of El- Daghbag , El- Gindi District , Ministry of Industry , Geological Survey and Mineral Research Department , Geological Survey of Egypt , 1958, P.P. 61-62




خريطة رقم (٦) توضح أماكن وجود الرخام فى منطقتى الدغبج والجندى

(عن عبد العال عامر وأحمد منصور ، ١٩٥٨م)

ويعتبر هذا الرخام رخام كلسي Calcite Marble يتكـــون مـــن بلـــورات الكالســـيت فـــي تركيـــب موازيكـــي Mosaic Structure وقد تكونت رواسب الرخام بوادي الدغبج من التحول لكربونات الماغنسيوم والكالسيوم·

## ثانيا : رواسب الرخام بجبل الرخام :

تقع هذه الرواسب الي الشمال من وادي المياه الي الشرق من شمال شرق جبل الرخام علي بعد حوالي ٦٠٠ مـــتر في الركن الشمالي الشرقي من هذه المنطقة وتظهر الرواسب بلون ابيض سكري علي هيئة طبقات ضخمة وقد كانت نتيجة التحليل الكيميائي لهذا الرخام كما فى الجدول التالى :-

جدول رقم (٥) يوضح نتيجة التحليل الكيميائى لرواسب الرخام بجبل الرخام .

| Component | % |
|---|---|
| Insoluble matter | 1.27 |
| $CaCO_3$ | 65.1 |
| $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ | 0.4 |
| $Mg\ CO_3$ | 10.7 |
| $Mg\ (OH)_2$ | 22.67 |
| NaCl | 0.3 |
| $SO_3$ | Nil |

(After Abd El-Aal F. Amer, 1958)

وقد نتجت رواسب الرخام في جبل الرخام نتيجة التحول لرواسب كربونات الكالسيوم والماغنسيوم (الحجر الجـــيري والدولوميت) مع رواسب السليكون والالومنيوم والحديد Si,Al , Fe وهي تختلف في سمكها من سنتيمترات قليلـــة الي اربعة امتار (١)

## أنواع الرخام الموجود فى مصر Kinds of Marble in Egypt

وهناك العديد من الأنواع من الرخام منتشرة فى مصر محلية أو مستوردة سواء من الرخام الأبيض الذى قد يكـــون مجزعاً بالرمادى أو الرخام الملون والذى استخدم فى المآذن الأثرية وفيما يلى هذه الأنواع .

### الرخام الأبيض

ويشمل هذا القسم جميع أنواع الرخام التى يغلب عليها اللون الأبيض وقد تتميز بتداخل ألـــوان أخـــرى (وخاصـــة الرمادى بدرجاته المختلفة) تميز مظهرها العام فى شكل عروق أو بقع ملونة بغير اللون الأبيض وهذه الأنواع هى

### (أ) رخام الكرارة

وهو الرخام الإيطالى الأصل وهو أشهر أنواع الرخام الأبيض والذى يتميز بدرجة كبيرة من النقاوة ( لقلـــة نســـبة المعادن الثانوية به) ويتخلل بعض الأنواع من هذا (١) الرخام عروق ملونة (رمادى – اسود – بنى ) تكسبه شـــكلاً جميلاً وقد اكتسب هذا النوع من الرخام اسمه نسبة إلى موقع استخراجه من جبل كرارة فى إيطاليا .

---

( 1) Abd El-Aal F. Amer And Ahmed , O. Mansour : op. Cit , 1958, PP. 62-63

### (٢) رخام أبيض أدفو

وهو الاسم المحلى الذى يطلق على الرخام الأبيض المستخرج من وادى المياه بأدفو (محافظة أسوان) حيث يوجد على هيئة عدسات كبيرة وسط صخور السربنتين ويتميز بلونه الأبيض المتدرج إلى الرمادى الفاتح مع وجود بعض العروق أو البقع الرمادية وأحياناً الصفراء أو البنية والألوان المتداخلة بينهما .

### (٣) رخام أبيض النوبة

يطلق هذا الاسم على الرخام المستخرج من جنوب محافظة أسوان ويتميز بلونه الأبيض مع وجود نسبة قليلة من العروق الرمادية أو السوداء .

### (٤) رخام بيانكو

وهو الاسم الذى يطلق على الرخام الأبيض ( الكريستالى المظهر ) والذى يتميز بحبيباته المتبلورة ناصعة البياض (تشبه بلورات السكر ) وهو لا يحتوى على أية شوائب من المعادن الثانوية أو العروق الملونة .

### (٥) رخام أبيض بولينو

يطلق هذا الاسم على الرخام الأبيض شديد اللمعان والذى يحتوى على نسبة قليلة جداً من العروق الملونة .

## (ب) : الرخام الأسود

### (١) رخام أسود أدفو

هو الاسم المحلى الذى يطلق على الرخام المستخرج من وادى المياه ( وسط الطريق بين أدفو ومرسى علم بمحافظة أسوان ) ويتميز بلونه الأسود مع وجود بعض [٢] البقع أو العروق البيضاء .

### (٢) رخام أسود سيناء

يطلق على الرخام الأسود المستخرج من سيناء ويتميز بلونه الأسود مع وجود بعض الشوائب الملونة والعروق والبقع البيضاء وهو نوع من الأحجار الجيرية المتبلورة المسماة بأشباه الرخام .

## (جـ) الرخام الوردى

### (١) رخام البوتشينو (الوردى)

البوتشينو هو الاسم التجارى للرخام المشابه للنوع الإيطالى المسمى بهذا الاسم ويستخرج من منطقة الزعفرانه على ساحل البحر الأحمر ومن المنطقة بين أسيوط والوادى الجديد (الخارجة) ويتميز هذا النوع من الرخام بلونه الوردى المائل للاحمرار المعرق ذو الفصوص أو بدون فصوص وهو نوع من الأحجار الجيرية الصلبة المتبلورة (أشباه الرخام).

---

(١) المواصفات القياسية المصرية للرخام والجرانيت : وزارة الصناعة والثروة المعدنية ، الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسى وجودة الإنتاج ، ملحق رقم (١)

(٢) وزارة الصناعة والثروة المعدنية : المواصفات القياسية المصرية للرخام والجرانيت، الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسى وجودة الإنتاج ، ملحق رقم (١)

## (د) الرخام الأصفر

### (١) رخام البوتشينو (الأصفر)

له نفس خواص رخام البوتشينو الوردى (السابق الذكر) إلا أنه يتميز بلونه الأصفر المتدرج إلى الكريمى الداكن .

### (٢) رخام البرلاتو

يطلق هذا الاسم على الرخام المشابه للرخام الإيطالى المسمى تجارياً بالبرلاتو ويتميز بلونه الأصفر أو الكريمى المتجانس الخالى من العروق ويستخرج من منطقة قرب سمالوط بمحافظة المنيا كما توجد منه بعض الأنواع التى تتميز بوجود نسبة كبيرة من شرق الحفريات التى تكسبها شكلاً مميزاً (أشباه الرخام) وتستخرج هذه النوعية من شرق المنيا وأسيوط وشبه جزيرة سيناء وجبل الجلالة بمحافظة السويس (رخام الجلالة).

### (٣) رخام الفلتو [١]

يطلق على الرخام المصرى المشابه لرخام الفلتو الإيطالى ويتميز هذا النوع من الرخام بلونه الأصفر المتدرج إلى الكريمى وشكله العام المميز بوجود عروق دقيقة أو بقع بلون داكن عن اللون العام للسطح ومن اشهر أنواعه المحلية رخام فلتو الحسنة والذى يستخرج من منطقة الحسنة شمال محافظة سيناء وهو أيضاً من أنواع الحجر الجيرى المتبلورة والمسمى بأشباه الرخام .

## (هـ) الرخام الرمادى

### رخام الترستا

يطلق هذا الاسم على الرخام المشابه لرخام الترستا الإيطالى ويتميز هذا النوع من الرخام بلونه الرمادى المدخن المتجانس وينتج محلياً بمنطقة إدمو غرب محافظة المنيا وهو أيضاً من أشباه الرخام .[٢]

ويعتبر الرخام جيداً عندما يكون خالياً من العروق التى تجعله ضعيف التماسك والشروخ والنتوءات وأى عيوب أخرى تؤثر على نسيجه ومظهره ويوضح الجدول رقم (٦) قيم وحدود الخواص الطبيعية للرخام الجيد

**جدول رقم (٦) يوضح قيم الخواص الطبيعية للرخام الجيد**

| الخاصية | القيمة | الحدود |
|---|---|---|
| امتصاص الماء (%) | ٠,٧٥ | حد أقصى |
| الكثافة جم / سم٣ | ٢,٥ | حد أدنى |
| مقاومة الانضغاط (كجم/سم٢) | ٥٢٠ | حد أدنى |
| الصلادة ( مقاومة الخدش) | ٤ | حد أدنى |
| معاير الكسر بالانحناء كجم /\سم ٢ | ٧٠ | حد ادنى |

عن (وزارة الصناعة والثروة المعدنية المواصفات القياسية المصرية للرخام والجرانيت)

## ٤- الأخشاب Wood

استخدمت الأخشاب فى المآذن الأثرية فى عمل السياج الخشبى لشرفات بعض المآذن الأثرية، مثل مئذنة المدرسة الصالحية لوحة رقم (٦) ومئذنة مسجد لاجين السيفى صورة رقم (١٠) ومئذنة مدرسة المنصور قلاوون

---

(١ ) وزارة الصناعة والثروة المعدنية : مرجع سابق .

(٢ ) وزارة الصناعة والثروة المعدنية : المرجع نفسه .

لوحة رقم(٢٦) كما استخدمت فى عمل قمم المآذن العثمانية المدببة مثل مئذنة جامع المحمودية (٩٧٥هـ/١٥٦٨م) لوحة رقم (٢٤) ثم تكسى بالواح الرصاص ، وكان المصريون يستخدمون جذوع النخل فى إنشاء الأسقف البسيطة وربط جدران المآذن المشيدة من الأجر وفى البراطيم الخشبية التى تحمل شرفات بعض المآذن الأثرية ولكن هذا النوع من الخشب لم يكن صالحاً لكل الأغراض لذلك اقبل المصريون على استيراد بعض أنواع الخشب الأخرى على الرغم من وجود أخشاب محلية [١]

## مصادر الأخشاب Sources of Wood

يتم الحصول على الأخشاب من الغابات وهى تنقسم إلى ثلاثة أقسام هى :-

### ١) غابات المناطق الحارة والاستوائية

رغم شدة حرارة هذه المناطق إلا أنها تتمتع بسقوط أمطار غزيرة على مدار العام كما نجد أن أشجارها ضخمة وكثيفة متشابكة الأغصان ، متقاربة الجذوع وأوراقها عريضة ومن أنواع أخشابها الابنوس والتك والصندل والساج الهندى والسنديان والماهوجنى .

### ٢) غابات المناطق المعتدلة

أخشابها متوسطة اللون والصلابة ، أوراق أشجارها ضيقة وعريضة تسقط فى الشتاء وتعد من أجود وأنسب الأنواع صلاحية للتشغيل ومن أنواعها الزان والقرو والبلوط والحور والدردار .[٢]

### ٣) غابات المناطق الباردة

أشجارها عالية مخروطية المقطع ، دائمة الخضرة ، لا تسقط أوراقها ، توجد عليها طبقة صمغية ، أخشابها فاتحة اللون غالباً ، ذات ألياف لينه ، ومن أهم أنواعها الصنوبر الأبيض والأصفر والبيتولا والأرز والتنوب[٣]

## أنواع الأخشاب Kinds of Wood

تنقسم الأخشاب إلى نوعين هما الأخشاب الصلبة Hard wood والأخشاب اللينه Soft wood

### أ- الأخشاب اللينة Softwood

والأشجار التى تؤخذ منها هذه الأخشاب أوراقها إبريه دائمة الخضرة مثل أشجار الصنوبر وهذه الأشجار ذات أخشاب لينه ناتجة من تكوينها المورفولوجى التكوين من خلايا رقيقة جداً ذات محور طولى حيث تتكون بطول جذع الشجرة والأفرع لتنقل عصارة الخشب خلالها ومن أنواعها أيضاً خشب الأرز Cedar وخشب العرعر Juniper[٤]

---

(١) توفيق أحمد عبد الجواد : تاريخ العمارة والفنون الإسلامية بدون مكان نشر ، ١٩٧٠م ، ص ٢٢٢ .

(٢) على عبد المنعم شمس : حفر وتشكيل الخشب ، كلية فنون تطبيقية ، ١٩٩٦، ص٣-٤

(3) Core, H.A. And Cote, W.A.: Wood Structure And Identification, Syracuse University Press, New York, 1994, P.12.

(4) Jane, F.W.:The Structure Of Wood, London , 1962,P.36.

### ب- الأخشاب الصلبة Hard wood

كثافة هذه الأخشاب أكبر من كثافة الأخشاب اللينة لاندماج أليافها فهى أكثر مقاومة لفعل الاحتكاك وللماء والأحماض حيث تتميز بالصلادة التى تحتاج إلى جهد كبير فى تشغيلها ومن أمثلتها خشب الزان Beech والقرو oak والبلوط Ash والماهوجنى Mahogany والجوز Walnut والورد Rosewood [١]

وقد استورد المصريون الأخشاب الجيدة من الخارج [٢] حيث استوردوا أخشاب الأرز من لبنان وكذلك الصنوبر كما استوردوا الابنوس من السودان والساج من الهند ، وتوجد فى مصر أخشاب محلية متعددة الأنواع استخدمت أيضاً فى الأغراض الإنشائية فى العمارة الإسلامية وفى المآذن الأثرية ومن هذه الأنواع خشب السنط Acacia وخشب نخيل البلح Date Palm وخشب نخيل الدوم Dom Palm وخشب اللبخ Parsea وخشب النبق Sidder وخشب الجميز Sycamore وخشب الأثل (الطرفاء) Tamarisk وخشب الصفصاف Willo [٣]

## التركيب الكيميائى للأخشاب Chemical Structure of Wood

يتكون من ألياف سليولوزية Cellulosic Fiber s وهى مادة كربوهيدراتية عديدة التسكر Poly Saccharide Carbohydrate ويحتوى الخشب على السيليولوز $(C_6H_{10}O_6)$ n Cellulose حيث تدل (n) على عدد وحدات الجزئ الواحد وهى حوالى ٥٠٠٠ وحدة فى العادة كما يحتوى الخشب على مادة الهميسليولوز Hemi Cellulose وهى مادة غير سليولوزية عديدة التسكر [٤] وتوجد فى تركيب الخشب بنسبة من ٢٠-٢٥% وجزئياته صغيره الحجم وكذلك يحتوى الخشب على مادة اللجنين Lignin وهى المادة الرابطة التى تربط ألياف السيليولوز ببعضها البعض وتوجد فى الخشب بنسبة من ٢٥-٣٠% بالإضافة إلى ذلك توجد مواد أخرى بنسب صغيره مثل الراتنجات Resins والتانات Tanins والزيوت العطرية والسكريات والشموع والأملاح [٥]

## الخواص الكيميائية للأخشاب Chemical Properties of Wood

تقاوم الأخشاب الأحماض المتوسطة التركيزات بينما تتأثر بالقلويات مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH ولذلك تستخدم القلويات فى تحويل الخشب إلى لب فى صناعة الورق حيث تؤثر بشدة على اللجنين وتذيبه أما الكحولات و المحاليل العضوية فإنها لا تؤثر على الخشب ولكنها تؤدى إلى انتفاخه وتفقده قوة تحمل الانضغاط Compressive Strength [٦]

---

(1)Eams, A.J.: An Introduction To Plant Anatomy, MC Graw- Hill Book CO. Inc, London, 1988, P.33.

(٢) توفيق أحمد عبد الجواد : مرجع سابق ، ١٩٧٠م ، ص ٢٢٢ .

(3)Standard , B.: Classification Of Wood Preservatives And Their Method Of Application, London, 1982. PP.5-17.

(٤) حسام الدين عبد الحميد محمود : المنهج العلمى لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٨٤، ص٢٥٧.

( 5) Browning , B.L.: Methods Of Wood Chemistry, Vol.1, New York, 1967, P.4.

( 6) Jane, F.W.: The Structure Of Wood London, 1962, P.8.

## الخواص الفيزيائية للأخشاب Physical Properties of Wood

من أهم الخواص الفيزيائية الهامة للأخشاب والتى يتوقف عليها مدى متانتها وقدرتها على التحمل وقابليتها للتشغيل خاصية الكثافة Denisty وكثافة الأخشاب تعتمد على نسبة ما تحتويه من مواد راتنجيه وماء وكذلك على نسبة الألياف فيها وعدم انتظام تجفيف الأخشاب يؤدى إلى اختلاف كثافتها فى نفس اللوح وهذا يؤدى إلى عدم قابليته للتشغيل بشكل جيد ويصل حجم تمدد الأخشاب إلى أقصى حد عندما يكون المحتوى المائى أعلى من نقطة تشبع الألياف وهى حوالى ٣٠% وتصل النسبة إلى ٢٠٠% فى الخشب غير المجفف(١)

## تمدد الأخشاب وانكماشها

الأخشاب مادة عضوية تتأثر بتغير الرطوبة المحيطة حيث تمتص الرطوبة وتفقدها وتتمدد كلما أمتصت الرطوبة وتنكمش كلما فقدتها ويوجد الماء فى الخشب فى ثلاثة حالات هى :-

(أ) ماء متحد مع جزئ السيليولوز .

(ب) ماء حر داخل الخلايا Free Water فى فراغات الخلايا فى الخشب الحى النامى (العصر الخلوى)

(جـ) ماء حر بينى يوجد فى جدر الخلايا وفيما بينها .

والماء المتحد مع جزئ السيليولوز ثابت فى تركيب السيليولوز ولا يتأثر بالرطوبة الخارجية ومن ثم لا يؤثر على ظاهرة تمدد الخشب وانكماشه (٢)

أم الماء الحر الذى يوجد بجدران الخلايا أو داخلها أو بينها هو الذى يتعرض للزيادة (٣) أو النقصان لذلك فهو العامل الأساسى المؤثر فى تمدد الأخشاب وانكماشها(٤) وإذا تم قطع الخشب وترك إلى أن يجف تماما فى الجو فإنه لا يفقد كل الماء الحر الذى يوجد فى جدران الخلايا أو بينها ولكنه يحتفظ بنسبة معينة من الرطوبة تختلف تبعا لاختلاف الرطوبة بالهواء المحيط به ، فإذا وضع الخشب فى وسط مشبع بالرطوبة فإن جدران خلاياه تمتص الماء بنسبة تتراوح بين ٢٠-٣٠% بالنسبة للوزن الجاف للخشب (٥) وتختلف هذه النسبة كلما نقصت درجة الرطوبة النسبية المحيطة وتتراوح النسبة فى حالة انخفاض الرطوبة النسبية المحيطة لتصل بين ١١-١٢% فى حالة الخشب المجفف فى الهواء (٦)

---

(1) Core, H.A. And Cote, W.A.: Wood Structure And Identification, Syracuse University Press, New York, 1994, P.12.

(٢) حسام الدين عبد الحميد : مرجع سابق ، ١٩٨٤م، ص٢٥٩.

(3) Eams, A.J.: An Introduction To Plant Anatomy, MC Graw- Hill Book CO. Inc, London, 1988, P.33.

(٤) حسام الدين عبد الحميد محمود : مرجع سابق ، ١٩٨٤م، ص٢٦٨.

(5) Laudi, S.: The Conservation Of Wooden Objects, Report Victoria And Albert Museum Publication, London, 1972, P.6.

(6) Standard , B.: Classification Of Wood Preservatives And Their Method Of Application, London, 1982, PP.5-17.

## ٥ ـ استخدام النحاس في صناعة آهلة المآذن الأثرية

استخدم النحاس في صناعة آهلة المآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة ، والأمثلة على ذلك كثيرة حيث أن معظم المآذن المكتملة فى تكوينها المعمارى ولم تفقد أى جزء من أجزائها تحتوى على هلال فى قمتها مثل مئذنة مدرسة السلطان حسن (٧٦٤ هـ/١٣٦٢م) صورة رقم (١) ، ومئذنتا جامع المؤيد شيخ (٨١٨هـ-٨٢٣هـ/١٤١٥ك-١٤٢٠م) شكل رقم (٨) ، وكذلك مئذنة جامع قانيباى الرماح بالقلعة (٩٠٨هـ) ذات الرأسين صورة رقم (٢) وغيرها ، ونجد أن صناعة أهلة المآذن كانت من الصناعات المعدنية المرتبطة بالبناء والتشييد [١]

ولا يوجد النحاس في الطبيعة كفلز ، لكنه يستخلص غالبا بطرق صناعية من خاماته ومع ذلك فإنه من اقدم الفلزات التي عرفت في مصر حيث استخدم قبل الذهب[٢] ، وتوجد خامات النحاس في شبه جزيرة سيناء في ستة مواقع بمنطقتي مغارة وسرابيت الخادم كما توجد خامات النحاس بالصحراء الشرقية في مواقع وادي عربة شمالا إلى منطقتي أم سميوكي وأبو سيال جنوباً منها منجمي حمش ودنقاش (ذهب ونحاس)[٣] ولعل منطقة أم سميوكي كانت أهم مناطق استغلال النحاس علي الإطلاق وقد وجدت بها خنادق محفورة علي عمق خمسة عشر مترا تحت سطح الأرض[٤] ومن أهم خامات النحاس الموجودة في مصر الملاكيت $CuCO_3 . Cu(OH)_2$[٥] والازوريت Azorite $2CuCO_3 . Cu(OH)_2$[٦] والكريزوكولا Chrysecolla $CuSiO_3 . NH_2O$[٧] والخامات التي تم ذكرها هي أهم خامات النحاس التي استخدمت في استخلاص معدن النحاس وهناك العديد من الخامات الأخرى الأقل أهمية مثل الكوبريت (أكسيد النحاسوز $Cu_2O$) والتينوريت (أكسيد النحاسيك الأسود $CuO$) والكالكوبيريت (كبريتيد النحاس والحديد $CuFeS_2$) والكالكوسيت (كبريتيد النحاسوز $Cu_2S$) والكوفالايت (كبريتيد النحاسيك $CuS$).

ومن النادر أن يوجد النحاس في صورة فلزه الخالص مثل الذهب أو الفضة لذا فإنه كان يستخلص من خاماته بطرق صناعية تتضمن عمليات الاختزال والصهر والتنقية حيث يتم الحصول علي النحاس النقي إلى حد ما والذي يتم تشكيله بعد ذلك للحصول علي آهلة المآذن.

## ٦ ـ استخدام ألواح الرصاص المعدنية في تغشيه قمم المآذن الأثرية

لعب معدن الرصاص دورا هاما في تكسية قمم المآذن العثمانية ذات الشكل المخروطي المدبب [٨] لا سيما وان قمم المآذن العثمانية كانت تصنع من الخشب وقد برع الصناع الأتراك في تكسيه قمم المآذن بالرصاص وهناك احتمال كبير بأنهم هم الذين قاموا بعمل معظم مآذن القاهرة ذات القمم المخروطية وأن الصناع المحليين تعلموا منهم أصول هذه الصناعة[٩] وإن كانت معظم المصادر المكتوبة تشير إلى جلب صناع روم من

---

(١) ربيع حامد خليفة : مرجع سابق ، ١٩٨٥م ، ص ٧٢-٧٣

(٢) محمد سميح عافية : التعدين في مصر قديما وحديثا ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٨٥م ، ص ٢٣٤ ، ص ٢٤٠

(٣) لبيب سمير : دراسة تاريخية لاستغلال الخامات المعدنية في الصحراء الشرقية في مصر الفرعونية والنشاط الاقتصادي المتصل بها ، رسالة ماجستير ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية ، ١٩٨٢م ، ص ١٨

(٤) مختار رسمي ناشد : قدماء المصريين واقتصاديات علم الجيولوجيا ، رسالة العلم ، المجلد ٣٩ ، العدد ١ ، مارس ، ١٩٧٢م ، دار مصر للطباعة ، القاهرة ، ص ٥٥

(٥) الفريد لوكاس : مرجع سابق ، ١٩٤٥ ، ص ٣٤٣ - ٣٤٤

(٦) محمد عز الدين حلمي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٣٢

(٧) محمد عز الدين حلمي :مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٣٨٨

(٨) مختار رسمي ناشد : مرجع سابق ، ١٩٧٢م ، ص ٥٦

(٩) محمد عز الدين حلمي : مرجع سابق ، ١٩٨٤م ، ص ٢٦٣

تركيا عند تغطيه قمم المآذن بالرصاص[١] ومن أمثلة ذلك مئذنتا جامع محمد على بالقلعة (١٨٢٤م-١٨٥٧م) صورة رقم (٦) ، وكذلك مئذنة جامع المحمودية (٩٧٥هـ/١٥٦٨م) لوحة رقم (٢٤).

## تشكيل ألواح الرصاص المستخدمة في تكسيه قمم المآذن

يتم تشكيل ألواح الرصاص المستخدمة في تكسيه قمم المآذن المخروطية بواسطة عملية الدلفنة وهي إحدى عمليات التشكيل اللدن علي البارد للفلزات وذلك بضغطها بين اسطوانتين أو دلافين دوارة Rotating Rolls مسطحة تماما وناعمة ومصنوعة من الصلب ، وتتم عملية الدلفنة للحصول علي ألواح مسطحة متساوية السمك من الرصاص[٢] ، وتتم عملية الدلفنة علي مراحل يتخلل كل مرحلة عملية تخمير (تلدين Anneeling) وعملية التلدين بالتخمير تعني تلدين وتطرية المعدن بالحرارة بعد دلفنته في المرحلة الأولى حيث يكتسب المعدن خاصية الصلادة والتي قد تعرضه للكسر والتشوه في حالة استمرار عملية الدلفنة دون إجراء عملية التلدين وفي هذه العملية نجنب المعدن حدوث تشوه كما تعمل هذه العملية علي إعادة الخواص الأصلية للمعدن لإمكان دلفنته في المراحل التالية حتى الحصول علي السمك المطلوب لألواح الرصاص التي ستستخدم في تغشيه وتكسيه قمم المآذن.

## تكسيه قمم المآذن المخروطية بألواح الرصاص

بعد الحصول علي ألواح الرصاص المطلوبة وبالسمك المناسب يتم قطعها بالمقصات المعدنية المناسبة إلى المقاسات المطلوبة لتغطية وتكسيه أسطح المخروط المكون لقمة المئذنة حيث توضع إلى جوار بعضها البعض بواسطة صناع مهرة مدربين علي هذا العمل حيث يتم بعد ذلك لحامها مع بعضها البعض بواسطة سبيكة لحام مناسبة ومن سبائك اللحام المستخدمة لهذا الغرض سبائك اللحام بالقصدير (قصدير + رصاص) المعروفة بسبائك اللحام اللين ومن السبائك المناسبة للحام ألواح الرصاص السبيكة المكونة من (١ جزء قصدير + ٢ جزء رصاص)[٣] كما كان يتم تثبيت الواح الرصاص المستخدمة لتكسيه قمم المآذن باستخدام مسامير البرشام حيث كان يتم عمل ثقوب في كل لوحين متجاورين بعد عمل تداخل بين بعضهما البعض [٤] ثم توضع مسامير البرشام ويتم طرقها لتثبيت الألواح مع بعضها البعض [٥] ومن أمثلة المآذن التى تم تثبيت الواح الرصاص فى قمتها بهذه الطريقة مئذنة جامع مغلباى طاز صورة رقم (١٨).

## ٧ـ المونات المستخدمة فى بناء المآذن الاثرية

المونة هى المادة اللاصقة التى تربط قوالب الآجر بعضها ببعض أفقياً ورأسياً فى البناء ولها وظائف متعددة منها:-

١- توزيع ضغوط الأحمال الواقعة على الجدار بالتساوى على جميع أجزاء القوالب التكوينة لها .

٢- لصق وربط جميع القوالب بعضها ببعض وجعلها كتله واحدة متماسكة .

٣- تعمل كمادة عازلة إلى حد ما لنفاذ الحرارة والرطوبة والصوت من خارج الجدار إلى داخله .

---

(١) ربيع حامد خليفة : فنون القاهرة في العصر العثماني (١٥١٧م – ١٨٠٥م) مكتبة نهضة الشرق ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٥م، ص ٩١

(٢) مختار رسمي ناشد : مرجع سابق ، ١٩٧٢م ، ص ٥٦

(3) Poludhi, P. et al., Metal Process Engineering , Mir Publishers , Moscow, 1970, P.30.

( 4) O'chonaghue. M.: The Encyclopaedia Of Minerals And Gemstones, Ores,.London, 1985,P.35.

( 5) Forbes R.J.: Studies In Ancient Technology, Vol. 8, Leiden, 1989, P.52.

وللمونات أهمية كبيرة من حيث نوعها وأسلوب خلطها وصلاحيتها فى الأجزاء المختلفة من المبانى ولذلك يجب اختيار المونات المناسبة مع مراعاة خلطها جيدا حسب النسب المطلوبة وألا يزيد سمكها فى البناء عن سنتيمتر واحد.

وقد استخدمت بعض المونات بشكل أساسى لبناء المآذن الأثرية ومن هذه المونات مونة الجبس ومونة الجير بالإضافة إلى الرمل وفى بعض الأحيان كانت تضاف بودرة الحجر الجيرى كمادة مالئة إلى جانب ذلك استخدمت بعض المواد الأخرى مثل القصر وميل والحمرة .

## (أ) مونة الجبس Gypsum Mortar

يوجد الجبس فى الطبيعة فى صور مختلفة حيث يمكن أن يوجد بين طبقات الحجر الجيرى ويوجد مختلطاً مع بعض المعادن مثل معدن الهاليت NaCl Halite والكالسيت $CaCO_3$ والانهيدرايت $CaSO_4$ [1] وفى مصر يوجد الجبس مختلطاً مع الإنهيدرايت فى التلال الممتدة على جانبى خليج السويس وعلى ساحل البحر الأحمر (ضمن تكوينات عصر الميوسين) [٢]، ويتركب الجبس من كبريتات الكالسيوم المائية ( التى تحتوى على جزيئين ماء) $CaSO_4.2H_2O$ [٣] ويتم تحضير الجبس لاستخدامه كمونه عن طريق حرق خام الجبس فى قمائن[٤] عند درجة حرارة من ١٥٠م° إلى ١٦٠ م° فيتحول خام الجبس إلى كبريتات كالسيوم [٥] تحتوى على نصف جزئ ماء $CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O$ وعند خلطة مرة أخرى بالماء عند استخدامه فى المونة يعطى كبريتات كالسيوم مائية بها جزيئين ماء $CaSO_4.2H_2O$ وقد يتحول خام الجبس إلى كبريتات كالسيوم لامائية (إنهيدرايت $CaSO_4$) عند فقده لماء تبلوره وذلك عند تعريضه لدرجة حرارة أعلى من ١٦٥م° [٦] وذلك طبقاً للمعادلات الآتية :

$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow[\text{In Kiln}]{150-160c^o} CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + 1\frac{1}{2}H_2O \uparrow$$

$$CaSO_4\frac{1}{2}H_2O + H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O \quad \text{Gypsum}$$

$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow[\text{أعلى من ١٦٠م°}]{\text{درجة حرارة}} \underset{\text{Anhydrite}}{CaSO_4} + 2H_2O$$

---

( 1) Ashurst, J. And Ashurst, N. : Practical Building Conservation Vol.1, Stone Masonary, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988,P.27.

( ٢) محمد عز الدين حلمى : علم المعادن ، مكتبة الانجلو المصرية ، ١٩٨٤م، ص٣٤١

( 3) Komar, A.: Building Materials And Components, Mirpublishers, Moscow, 1979, P.118

( 4) Martinet, G.: Gres Et Mortiers Du Temple D'Amon a Karnak (Haute Egypte), Etude Des Alterations Aide a La Restauration Laboratoire Central des Ponts Et Chaussees , 1st- Section Des Publications , Paris, 1992. P. 79.

( 5) Torraca, G.: Porous Building Materials, Materials Science For Architectural Conseruation, Iccrom, Rome, 1982,P.65 .

( 6) Oliver, A. : Dampness In Buildings ,Bsp. Professional Books, Oxford, London, 1988,P.205 .

وقد استخدم الجبس كمونة فى عمليات بناء المآذن الأثرية بالإضافة إلى الرمل وإضافات من الجير أو مسحوق الحجر الجيرى أو كليهما.[١]

## ٢) مونة الجير Lime Mortar

استخدم الجير كمونة لبناء المآذن الأثرية مع الرمل كمادة مالئة وقد كان يضاف إليه نسبة من الجبس في بعض الحالات ويتم الحصول على الجير بواسطة حرق كتل الحجر الجيرى Limestone عند درجات حرارة عالية ما بين ٩٥٠م° وحتى ١٠٥٠م° فى قمائن[٢] حيث يفقد الحجر الجيرى $CaCO_3$ ثانى أكسيد الكربون $CO_2$ ليعطى أكسيد الكالسيوم CaO Calcium oxide أو الجير الحى quickLime وبإضافة الماء إلى الجير الحى CaO (إطفاء الجير ) نحصل على الجير المطفئ [٣]

وهو عبارة عن هيدروكسيد الكالسيوم Calcium Hydroxide $Ca(OH)_2$ وعند استخدام الجير المطفأ فى المونة وتركه بعد عمليات البناء ليجف نحصل على كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ [٤]حيث يمتص هيدروكسيد الكالسيوم ثانى أكسيد الكربون من الجو معطيا كربونات الكالسيوم وذلك طبقاً للتفاعلات الآتية[٥]

$$CaCO_3 \xrightarrow{950°C-1050°C} CaO + CO_2 \uparrow$$

Limestone q(uicklime (calcium oxide

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

(Calcium hydroxide)
Slaked lime

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

ومن المواد التى كانت تضاف للمونات الأساسية السابقة وهى مونتى الجبس والجير القصروميل والبوتسلانا والحمرة وفى بعض الأحيان كان يعتمد عليها كمونة بمفردها أو مع بعض الأضافات وفيما يلى هذه المواد.

### أ- القصروميل

ينتج القصروميل من حرق الوقود النباتى والمخلفات (القمامة) حيث نحصل على الرماد[٦] وهذا الرماد يعرف بالقصروميل [٧] وكان يحصل عليه قديماً من الرماد الناتج عن الوقود المستخدم فى أفران صهر المعادن وغيرها من الأفران أما الآن فيتم الحصول عليه من رماد المستوقدات العمومية ويتكون من العديد من التكوينات التى تصلح لاتخاذ القصروميل كمونة تستخدم للبناء ومن هذه التكوينات السليكا والألومينا والأملاح الجيرية وأكاسيد الحديد

( 1) Komar, A.: Op. Cit., 1979, P.126 .

( 2) Martinet, G.: Gres Et Mortiers Du Temple D'Amon a Karnak (Haute Egypte), Etude Des Alterations Aide a La Restauration Laboratoire Central des Ponts Et Chaussees , 1st- Section Des Publications , Paris, 1992. P. 88.

( 3) Lewcok, R.: Architects, Craftsmen And Builders, Materials And Techniques In : Architecture Of The Islamic World, Its History And Social Meaning, London, 1978,Pp.138-139.

( 4) Speweik, J.P.: Op. Cit., 1995, P.19.

( 5) Oliver, A.: Op. Cit., 1988, P.204 .

( 6) Komar, A.: Op. Cit.. 1979,P.120.

(٧ ) حسين محمد صالح : مواد البناء ، الطبعة السادسة ، ١٩٥٩م ، القاهرة ، ص١٣٥ .

والبوتاسيوم والمنجنيز [١] ويستخدم القصروميل كمونة بإضافة الجير إليه فى أغلب الأحيان ليكونـــان معــاً مونـــة متماسكة قوية تستخدم فى البناء مع إضافة من مادة مالئة مثل الرمل وقد تضاف أيضاً بودرة الحجــــر الجـيرى[٢] ويجب أن يكون القصروميل (رماد الأفران) نقياً خالياً من الشوائب حيث يجب أن تفصل منه الشوائب حتى لاتؤثــر على خواصه عند استخدامه فى المونات .

## ب ـ البوتسلانا Pozzolana (رماد البراكين)

تنتج البراكين رماداً يستخدم كإضافة للمونات وقد أطلق عليه اسم البوتسلانا Pozzolana وهو اسم إيطالى مشـــتق من اسم المدينة الإيطالية Pozzuoli وهذا الرماد البركانى فى له نسيج زجاجى غير متبلـــور amorphous بـــه فقاعات غازية[٣] وهى مواد خاملة وتعطى مونة هيدروليكية جيدة عند خلطها مع الجير [٤] وتختلف اختلافــــاً فـــى تركيبها حيث تحتوى على نسب من السيليكا $SiO_2$ والألومينا وأكاسيد الحديد كما قد تحتوى على نسب قليلـــة مـــن أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم[٥] ويمكن تفسير عملية شك (تصلد) رماد البراكين عند خلطـة مع الجير فى وجود الماء بسبب تكوين الومنيات الكالسيوم المائية وسيليكات الكالسيوم المائية التى يعود لها الســـبب فى تصلد المونة[٦] وذلك طبقاً للمعادلة التالية :

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH | + | A.S | + | H | | CHS | + | Ca |
| Slacked lime | | Reactive alumina and silica | | water | → | Calcium silicate hydrate | | Calcium aluminate hydrate |

وهناك نوع من هذه المواد يطلق عليه البوتسلانا الصناعية يتم الحصول خلاله على مواد مشابهة لرمــــاد الـــبراكين لاستخدامها فى عمل المونات[٧] ومن خاماتها رماد الفحم والطوب الحرارى المطحون كما يمكن الحصول عليها من تكليس الحجر الجيرى المحتوى على نسبة من الطفلة حيث تتكون سيليكات الكالسيوم التى تخلط مع الجير للحصـــول

---

(1) Komar, A.: Op. Cit., 1979, P.130.

(2) Martinet, G.: Gres Et Mortiers Du Temple D'Amon a Karnak (Haute Egypte), Etude Des Alterations Aide a La Restauration Laboratoire Central des Ponts Et Chaussees , 1st- Section Des Publications , Paris, 1992. P. 89.

(3) Harrison, W.H. And Bowler, G.K.: Aspects Of Mortar Durability, London, 1990, PP.93-101.

(4) Torraca, G.: Porous Building Materials, Materials Science For Archituctural Conservation, Second Ed., Iccrom, 1982,P.71.

(5) Nicholson, P. The New Practical Builder, Second Edition, Thomas Kelly, London, 1992, P.43.

(٦) أحمد إبراهيم عطية : دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها فى أعمال الترميم المعمارى للمبانى الأثرية فى مصر: رســالة دكتوراه ، قسم الترميم كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م ، ص٣٠ .

(7) Speweik, J.P.: The History Of Masonary Mortars In America, National Lime Association, Arlington, VA, New York, 1995, P.18.

على مونة جيدة(١) ويجب أن تنخل وتنقى هذه المواد جيداً . وتطحن أيضاً بشكل جيد للحصول على مونـــة مناســبة عند خلطها مع الجير(٢)

**جـ - الحمرة**

الحمرة هى عبارة عن الطوب المحروق (الآجر) المطحون أو كسر الفخار حيث يتم الحصول بعــد طحنــها علــى الحمرة وقد استخدمت خلال العصور الإسلامية فى بناء المبانى الأثرية بعناصرها المختلفة ومنها المآذن الأثريـــة . وقد توافرت الحمرة بكثرة بسبب براعة الصناع فى مصر فى صناعة الطوب المحروق (الآجر)(٣) وكذلك الحصول على الطفلة المستخدمة فى صناعة الفخار والذى تطحن كسرة فيما بعد للحصول على مسحوق ناعم هـــو الحمـــرة تحتوى على تكوينات مختلفة من الأكاسيد المعدنية ولكن أهم تكويناتها هى السيليكا والألومينا والتى تعطيها خـــواص التصلب للحصول على مونة هيدروليكية (أى قابلة للشك) عند خلطها بالماء وذلك فى وجودها كخليط مـــع الجـــير وتعتبر من المونات السهلة فى الحصول عليها وطريقة تجهيزها حيث يجب أن يعتنى أن تكون ناعمة قدر الإمكـــان ويتم تنقيتها من الشوائب قبل استخدامها (٤)

ومن المونات المناسبة التى يمكن استخدامها فى البناء بالطوب المحروق (الآجر)(٥) المونة المكونـــة مـــن الجـــير والرمل بنسبة ١ :٢ أو ٢ : ٣ ، وكذلك المونة المكونة من الجير والحمرة والرمل بنسبة ١: ١ : ١ أو بنســـبة ٢ : ١,٥ : ١,٥ كما يجب أن يكون الرمل متجانس نظيف خالى من الأملاح(٦) حيث يجب أن يتم غسله بالماء بالإضافـة لذلك يجب أن يكون الجير قابلا للتشغيل (أى يتم تخميره بوضعه فى الماء لفترة مناسبة قبل الاستخدام ) حتى يكـــون متجانساً وناعماً ويخلط الجير مع الرمل أولاً جيداً ثم تضاف الحمرة بعد ذلك حيث تخلط أيضاً جيداً (٧) .

---

( 1) Lea, F.M.: The Chemistry Of Cement And Concrete, Chemical Publishing, London, 1971, P.56.

(٢) أحمد إبراهيم عطية : دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها فى أعمال الترميم المعمارى للمبانى الأثرية فى مصر ، رسـالة دكتوراه، قسم الترميم كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م، ص٣٣.

( 3) Martinet, G.: Gres Et Mortiers Du Temple D'Amon a Karnak (Haute Egypte), Etude Des Alterations Aide a La Restauration Laboratoire Central des Ponts Et Chaussees , 1st- Section Des Publications , Paris, 1992. P. 93.

(٤) حسين محمد صالح : مواد البناء ، الطبعة السادسة ، القاهرة ، ١٩٥٩م ، ص١٣٦ .

( 5) Martin, H. D.: Op. Cit., 1965,P.24 .

( 6) Puertas, A. And Blanco, M.T.: Mortars For Restoration, Decay Due To Salt Crystallization, In : 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, Germany, 1996, P.1547.

( 7) Martin, H.D.:Ibid,1965,Pp.24-26 .

# الفصل الثالث
# دراسة عوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية

تعتبر المآذن الأثرية من العناصر المعمارية المميزة فى العمارة الإسلامية لما تمتاز به من ضخامة وارتفاع شاهق وطرز معمارية متنوعة خلال العصور الإسلامية المختلفة ونظرا لهذه الطبيعة الخاصة للمآذن فقد تعرضت لعوامل تلف متعددة نتجت عنها مظاهر تلف كثيرة ومتنوعة فنجد بالاضافة إلى عوامل الفيزيوكيميائية والتى تشمل الرطوبة بمصادرها المختلفة والتغيرات فى درجات الحرارة والمياه الأرضية وحركة الرياح والأملاح والتلوث الجوى العوامل البيولوجية والعوامل البشرية كذلك التربة وتداعياتها وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية وكذلك تأثير الأحمال الدائمة ( الميتة ) أو الأحمال الأفقية والمتمثله فى أحمال الزلازل والرياح وفيما يلى دراسة لهذه العوامل :

## أولا : العوامل الفيزيوكيميائية Physiochemical factors

تشمل هذه العوامل الرطوبة Moisture والتغيرات التى تحدث فى درجات الحرارة والمياة الأرضية Ground water وتأثير الأملاح والرياح إلى جانب التلوث الجوي Air pollution

### ١ـ الرطوبة Moisture

تعتبر الرطوبة من أهم عوامل التلف المؤثرة على المآذن الأثرية بمصادرها المختلفة سواء مياه الأمطار التى تتوغل داخل جدران المآذن الأثرية من خلال مسام أحجارها (١) أو مياه التكثف حيث تحدث هذه الظاهرة عندما تكون درجة الحرارة لأسطح المآذن أقل من نقطة الندى Dew point للهواء المحيط بالمآذن حيث يتكثف بخار الماء (٢) فى هذه الحالة على هيئة قطرات من الماء على أسطح المآذن ويلعب هذا الماء الناتج من التكثف دورا هاما كمذيب للغازات الملوثة الموجودة فى الهواء والمترسبة على أسطح المآذن الأثرية مثل $NO_x$، $SO_2$ وغيرها (٣) كما تعمل مياه التكثيف عندما تتوغل داخل أسطح المآذن على إذابة الأملاح القابلة للذوبان وخلال عملية البخر تتحرك هذه الأملاح نحو السطح لتحدث عملية إعادة تبلور Re-Crystallization لها أسفل أسطح المآذن مباشرة أو تتزهر الأملاح على السطح مما يؤدى إلى نشأة ضغوط موضعية و إجهادات تؤدى إلى تفكك وتفتت حبيبات الأحجار (٤) ، ومن المصادر الأخرى للرطوبة الماء الذى يصعد من التربة بواسطة الخاصية الشعرية ويرتفع داخل جدران المآذن (٥) ويعتمد تأثير هذا المصدر من مصادر الرطوبة على موقع المئذنة من المسجد حيث يمكن أن تكون المئذنة فى أغلب الأحيان ضمن كتلة المبنى الأثري وقد تبدأ أساسات المئذنة وقاعدتها من التربة مباشرة المقام عليها المبنى الأثري أو تبدأ من سطح المبنى الأثري وفى هذه الحالة لا يكون هناك اتصال مباشر بين التربة المقام عليها الأثر والمئذنة وفى بعض الحالات قد تكون المئذنة مبنية على التربة مباشرة ومنفصلة (مستقلة ) عن المبنى الأثري ومثال ذلك مئذنة أحمد بن طولون ، لوحة رقم (٢) ومئذنة يشبك من مهدى صورة رقم (٢٨) ومثال المآذن المقامة على المداخل وغير متصلة بالتربة مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب لوحة رقم (٦) وفى حالة اتصال

(1 ) Richardson , B.A. Defects And Deterioration In Buildings , London , 1990, P. 97

(2) Zendri, E.et al: Characterization And Physico-Chemical Action Of Condensed Water On Limestones Surfaces In : Proceedings Of The 9 Th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone , Venice , 2000 , P. 647

(3 )Zilio, G .F. And Szpyrkowicz, L . Air Pollution Monitoring Network For The Venice Region Preliminary Results For The Rain Quality , Toxicolgecal And Environmental Chemistry , 29, 1991 P. 281-289

(4) Zendri , E. et al: Op.Cit. , 2000 , P. 648

(5) Charola, A.E.: Chemical - Physi al Factors In Stone Deterioration , Durability Of Building Materials , 5, 1998 , P. 185

المآذن بالتربة مباشرة تكون معرضة لارتفاع الماء الموجودة فى التربة داخل جدران المآذن حيث يعتمد مقدار ارتفاعها داخل الجدران على معدل البخر الذى يتوقف على درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى الجو المحيط وقد يحتوى الماء أو الرطوبة الموجودة فى التربة على كائنات حية دقيقة مثل الفطريات والبكتريا والاشنة التى تفرز أحماضا لتكوين الأملاح الضارة المسببة لتلف الأحجار وقد تحتوى الرطوبة على أيونات املاح ذائبة ترتفع على هيئة محاليل ملحية وعند التبخر بفعل ارتفاع درجة الحرارة تتبلور وتؤدى لحدوث ضغوط موضعية وقد تكون هذه الأملاح سببا فى ارتفاع محتوى الرطوبة داخل جدران المآذن إذا كانت من الأملاح الهيجروسكوبية Hygroscopic Salts مثل ملح الهاليت ( كلوريد الصوديوم ) NaCl أى الأملاح التى لها قدرة كبيرة على امتصاص الرطوبة وفقدانها بسرعة حيث تؤدى إلى المزيد من التلف [١] ويعتبر قياس محتوى الرطوبة الفعلى فى مواد البناء من أحجار جيرية ومونات التكوينة لجدران المآذن من الطرق الهامة لتشخيص حالة التلف التى تعانى منها المآذن وبالتالى عمل وإعداد الدراسات الخاصة بخطط الترميم الخاصة بها ويعتبر وجود الرطوبة المرتفعة فى جدران المآذن دلالة على استمرار عوامل التلف المختلفة فى القيام بدورها فى إتلاف المآذن وبالتالى نجد انه من الضرورى قياس محتوى الرطوبة باستمرار للمآذن الأثرية وخاصة عندما نريد معرفة مدى كفاءة ونجاح عمليات العزل الأفقى التى تجرى للمبانى الأثرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن وذلك لعزل جدران المآذن عن تأثير الماء الموجود فى التربة بما يحمله من أملاح وكائنات حية دقيقة [٢] وهناك أكثر من طريقة لقياس محتوى الرطوبة بجدران المآذن الأثرية ومنها :

١- قياس محتوى الرطوبة على الأسطح الخارجية لجدران المآذن بطريقة مباشرة باستخدام أجهزة قياس خاصة مثل أجهزة الهيجرومتر الرقمية[٣] Digital Hygrometer

٢- قياس محتوى الرطوبة عن طريق أخذ عينة من جدران المآذن بواسطة الحفر Drilling Sample على أعماق مختلفة ثم يتم حساب محتوى الرطوبة وتعتبر هذه الطريقة من الطرق المتلفة للأثر[٤] Destructive Method

٣- قياس محتوى الرطوبة باستخدام الطرق غير المتلفة للأثر N on-DestructiveTesting(*NDTS*) مثل استخدام الموجات فوق الصوتية Ultraso nic Technique [٥]

٤- هناك طرق تعتمد على استخدام أجهزة بها مجسات probes حساسة للرطوبة داخل الجدران على أعماق مختلفة حيث نستطيع من خلالها الحصول على قياسات منتظمة ومباشرة ومستمرة لمحتوى الرطوبة ولكن هذه الطرق تتأثر

---

(1) Sizov, B . Evaluation Of Moisture Content Measurement In Stone In : Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone , Venice , 2000 , P. 437

(2) Binda , L., et al: Determination Of Moisture Content In Masonary Materials : Calibration Of Some Direct Methods In 9 Th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone , Venice , 2000 , P.423

(3) Binda , L. , et al: Ibid , 2000, P. 424

(4) Sizov , B. : Op. Cit. , 2000 , P. 438

(5) Binda , L. et al: Op.Cit. , 2000 , P. 423

بالأملاح التى قد تكون موجودة داخل الجدران حيث أنها قد تؤثر على القياسات التى يتم أخذها للرطوبة [١] كذلك من الممكن أن تسبب الصدأ للمجسات الخاصة بالأجهزة [٢] بالإضافة إلى التكلفة المرتفعة للأجهزة المستخدمة [٣] . وتعتبر الطرق غير المتلفة ( NDTS ) من الطرق الناجحة غير أنها حتى الآن لا تعطينا قياساً كمياً لمحتوى الرطوبة بالجدران وربما بعد تطويرها فى المستقبل تكون من الطرق المفيدة لقياس محتوى الرطوبة للجدران .[٤]

وتوجد محطات للرصد الجوى بمدينة القاهرة نستطيع من خلالها التعرف على قياسات مصدر هام من مصادر الرطوبة وهو الأمطار من حيث مواسم سقوطها وكميتها وكذلك الرطوبة النسبية Relative Humidity ومعدلاتها خلال الشهور المختلفة للسنة وقد أعدت محطات الرصد بالهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ البيانات الخاصة بالأمطار والرطوبة النسبية الجوية بمدينة القاهرة وهذه البيانات عبارة عن متوسط للنتائج المرصودة خلال فترة زمنية تصل إلى ٣١ عام وهى تمثل القياسات منذ عام ١٩٦٨ م حتى عام ١٩٩٩ م وذلك كما يلى :

## ١ ـ الأمطار Rains

تم تسجيل متوسط النتائج المرصودة لكميات الأمطار لكل شهر من شهور السنة على مدى ٣١ عام ( حتى عام ١٩٩٩ ) حيث تم حساب المعدل السنوى لهطول الأمطار وهو معدل سنوي يتراوح من أقل من المتوسط إلى المتوسط حيث يبلغ حوالى ٣٥,٥ مم [٥] كما يتضح من الجدول رقم (٧) .

**جدول رقم (٧) يوضح المعدلات السنوية المختلفة لكمية هطول الأمطار**

**( المتوسط خلال ٣١ عام من ١٩٦٨ ، حتى ١٩٩٩ م ) على مدينة القاهرة**

| المعدل السنوى لعدد الأيام | هطول الأمطار (مم) | عدد الأيام |
|---|---|---|
| المعدل السنوى لعدد أيام هطول | ≥ ٠,١ مم | ١٧,٥ |
| المعدل السنوى لعدد أيام هطول | ≥ ١ مم | ٧,٥ |
| المعدل السنوى لعدد أيام هطول | ≥ ٥ مم | ١,٥ |
| الوسيط السنوى لاكبر كمية | ٥-١٠ مم | - |
| هطول خلال ٢٤ ساعة | ٥-١٠ مم | - |

(عن هيئة الأرصاد الجوية)

ومن خلال الجدول السابق [١] يتضح أن المعدل السنوى لهطول الأمطار على مدينة القاهرة يعتبر من المعدلات المتوسطة إذ يبلغ حوالى ٣,٥ سم ولكن هذا المعدل يعتبر ذو تأثير خطير على آثار مدينة القاهرة وذلك بسبب

---

(1) Dewit , M.. H. et al: Measuring Methods Of Of Moisture In Masonary , Ĉnr-Pfed, Bari , September , 1991 , P. 8

(2) Binda , L. et al: Op. Cit., 2000 P. 424

(3) Newman , A.J.: Improvement Of The Drilling Method For The Determination In Building Materials , Br E Current Paper Cp 22/75/, London, 1994 , P. 12

(4) Zendri , E. et al: Op. Cit. , 2000 , P. 648

(٥) بسام محمد مصطفى : دراسة تأثير المحيط التخطيطى والعمراني على التداعيات المعمارية للمباني الأثرية وطرق ترميمها وصيانتها تطبيقا على وكالة بازرعة ومحيطها ( القاهرة الفاطمية ) رسالة ماجستير ، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٠ م ، ص ٩٩ ، عن الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ .

التلوث الجوى الموجود وترسيب الغازات الملوثة والمعلقات الصلبة الموجودة فى الجو على أسطح المبانى الأثرية بعناصرها المختلفة ومنها المآذن حيث تؤدى إلى تحويلها إلى أحماض معدنية تمتصها الأحجار عن طريق مسامها(٢) فتؤدى إلى تكون الأملاح الضارة وتفكك التكوينات المعدنية للأحجار وكذلك ذوبان بعض تكويناتها وفقدان الأحجار للمادة اللاحمة بين حبيباتها مما يؤدى إلى تلفها كما تؤدى هذه الأمطار بعد امتصاص الأحجار لها إلى إذابة الأملاح الموجودة بها وعند حدوث عملية البخر تحدث عملية إعادة تبلور لهذه الأملاح مما يؤدى إلى وجود ضغوط وإجهادات (٣) تساهم فى تلف أحجار المآذن الأثرية .

## ب - الرطوبة النسبية Relative Humidity

من خلال قياسات متوسط الرطوبة النسبية الشهرية بمدينة القاهرة خلال ٣١ عام اتضح أن الرطوبة النسبية تبلغ أقصى قيمة لها فى شهري يناير وفبراير وهى ٦٨ % بينما أقل قيمة لها فى المتوسط هى ٤٢,٥% وذلك خلال شهر أبريل والمعدل السنوى للرطوبة النسبية اليومية هو ٥٥ % وهى بذلك متوسطة بشكل عام . كما يتضح من الجدول رقم (٨)

**جدول رقم (٨) يوضح متوسط المعدل الشهرى للرطوبة النسبية اليومية خلال ٣١ عاما على مدينة القاهرة(٤)**

| الشهر | المعدل الشهرى للرطوبة النسبية اليومية % |
|---|---|
| يناير | ٦٨ |
| فبراير | ٦٨ |
| مارس | ٥٥ |
| أبريل | ٤٢,٥ |
| مايو | ٤٥ |
| يونيو | ٤٧ |
| يوليو | ٥٥ |
| أغسطس | ٦٢,٥ |
| سبتمبر | ٦٤ |
| أكتوبر | ٦٥ |
| نوفمبر | ٦٧ |
| ديسمبر | ٦٧,٥ |
| المعدل السنوى للرطوبة النسبية اليومية | ٥٥ % |

---

(١) الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ

(2)Elizabeth , B.A. : Characrterization Of Surface Morphology Of Carbonate Stone And Its Effect On Surface Uptake Of SO2 , In : 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone , Venice , 2000 , P. 303

(3)Weber , H. , And Zinsmeister , K. : Conservation Of Natural Stone , Germany , 2000, P. 39

(٤) الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ

وجدير بالذكر أنه فى حالة وجود أخشاب مستخدمة فى المآذن الأثرية سواء فى قممها أو فى شرفاتها فإنها تتعـرض للتلف عند تعرضها لتغيرات كبيرة فى الرطوبة النسبية حيث يؤدى هذا إلى تمدد الأخشاب أو انكماشها فى اتجاهات متعامدة مع اتجاهات الالياف مما يسبب تشقق أو تقوس الأخشاب أو انفتالها [١] ، وقد تعرضت المآذن الأثريـة ذات القمة المدببة (العثمانية) المصنوعة من خشب البغدادلى إلى التلف فى حالات كثيرة ، ومن أمثلتـها مئذنـة جـامع المزهرية بالقرب من باب الفتوح ، لوحة رقم (٢٩) .

## ٦ـ التغيرات فى درجات الحرارة فى الجو المحيط بالمآذن الاثرية

تتعرض مواد البناء فى المآذن الأثرية إلى تغيرات دورية يومية وموسمية فى درجات حرارة الجو المحيط وهـذه التغيرات تعتبر مصدرا هاما للضغوط التى تتعرض لها مواد البناء وتؤدي إلى تلفها وذلك لأن مواد البنـاء تتمـدد بالحرارة وتنكمش بالبرودة ونجد أن التمدد الحرارى Thermal Expansion لمواد البناء يسبب حدوث ضغـوط ينتج عنها تغير فى الأبعاد أو تشوه شكلي أو ربما تحدث شروخ [٢] وتؤثر التغيرات فى درجات الحرارة وما ينتـج عنها من تمدد حرارى تأثيرا كبيرا على الأعمدة الرخامية وذلك فى المآذن المملوكية الطراز التـى تنتـهى قمتـها بثمانية أعمدة تحمل الجوسق وهذه الأعمدة تكون من الرخام ونتيجة لأن الرخام صخر متحول يتكون من بلـورات الكالسيت يحدث لهذه البللورات تمدد حرارى [٣] وكل حركة ناشئة عن التمدد الحرارى تسبب حدوث ضغوط بيـن كل بلورتين متجاورتين وينتج عن هذه الضغوط انفصال للبلورات عن بعضها البعض مما يسبب وجود شروخ دقيقة فى التركيب البنائى للرخام Micro Cracks تؤدى إلى ضعف وربما فقدانه لقدرته على تحمل الأحمال الميكانيكية المؤثرة عليه [٤] وبالتالى فإن هذا أحد أسباب انهيار الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق وبالتالى انهيار الجوسـق الذى يمثل قمة المئذنة ونجد ذلك فى العديد من المآذن مثل مئذنة جامع خايربك صورة رقم (٧) ومئذنة مدرسـة أم السلطان شعبان صورة رقم (٨) وغيرها من المآذن ولذلك يمكننا القول أن التغيرات فى درجة الحرارة تعتبر مـن العوامل الرئيسية التى تؤدى إلى انفصال البلورات أو الحبيبات المعدنية التكوينة الرخام (بلورات معدن الكالسـيت ) مما يؤدى إلى حدوث شروخ دقيقة وشقوق فى المرحلة التالية ويؤثر ذلك تأثيرا كبيرا على الخـواص الميكانيكيـة للرخام وخاصة عندما يتعرض لتأثير أحمال ميكانيكية مثل الأعمدة التى تحمل الجوسق فى المآذن المملوكية وهـذه الفراغات والشروخ والشقوق الموجودة تستقبل المحاليل التى قد تتعرض لها بعد ذلك عن طريق المصادر المختلفـة للرطوبة خاصة مياه الأمطار والتكثف بالإضافة لوجود التلوث الجوى كل ذلك يؤدى إلى حدوث عمليـات التكثـف والتحلل الكيميائى للرخام [٥]

---

(1) Laudi s.: The Conservation Of Wooden Objects, Report Victoria And Albert Museum Publication London, 1992,P.37.

(2) Feilden, B. M.: Conservation Of Historic Building , Butterworth Scientific, London, 1982,P. 98-99

(3) Torraca, G. : Porous Building Materials , Materials Science For Architecture Conservation , Iccrom , 1982 , Pp. 27-28

(4) Lindborg , U. And Dunakin , R.C.: Thermal Stress And Weathering Of Carrara , Pentelic And Ekeberg Marble , In : 9th International Congress Deterioration And Conservation Of Stone, Venice , 2000 , P.109

(5) Siegesmund , S. Et al : Control Of Marble Weathering By Expansion And Rock Fabrics , In : 9th International Congress Deterioration And Conservation Of Stone , Venice , 2000 , P. 211

وترتفع درجة حرارة مواد البناء المختلفة بدرجات متفاوتة بالتعرض لأشعة الشمس طبقا لمعامل التمدد الحرارى لكل منها وينتج عن ذلك تمدد ثم انكماش بفعل فقدان درجات الحرارة ويطلق على ذلك التحركات الحرارية لمواد البناء وينشأ عن هذه التحركات الحرارية ضغوط وتتوقف هذه الضغوط على عدة عوامل هى:

- مدى حرية مادة البناء وطبيعة ومدى اتصالها بالمواد الأخرى الملاصقة لها .
- مدى مرونة المادة .
- التغير فى معدل الرطوبة نتيجة عمليات البخر .
- قابلية المادة للسحب عند تعرضها للضغط .
- معامل التمدد الحرارى للمادة وما ينشأ من تغير فى أبعادها عند تعرضها لارتفاع درجة الحرارة وعلاقة تغيرات الرطوبة النسبية بذلك. (١)

وجدير بالذكر أن المبانى الأثرية بعناصرها ومنها المآذن تكون جدرانها ذات سمك كبير وغالباً تكون أسطحها الخارجية معرضة للتأثير المباشر لأشعة الشمس بينما لا تكون الأسطح الداخلية معرضه مباشرة لذلك تتأثر الأسطح الخارجية بالتفاوت والتغير فى درجة الحرارة حيث تختزن هذه الأسطح الطاقة الحرارية مما يؤدى إلى ارتفاع درجة حرارتها وتنخفض هذه الحرارة تدريجياً كلما اتجهنا للداخل ولذلك نجد أن التآكل وانفصال الطبقات يكون بشكل أكبر فى الأسطح الخارجية عن الأسطح الداخلية (٢)، ويؤدى ذلك إلى انفصال طبقات الملاط وتقشرها وفقدانها من فوق أسطح المآذن الأثرية المبنية من الطوق المحروق (الأجر) ، ومن أمثلة ذلك مئذنة مدرسة جوهر اللالا ، لوحة رقم (٣٠) ، ولذلك نجد من الضرورى ذكر البيانات والقياسات الخاصة بسطوع الشمس ودرجات الحرارة المؤثرة على المآذن الأثرية بمدينة القاهرة وذلك ضمن دراسات الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ كالتالى:-

## (ا) السطوع الشمسى والإشعاع الشمسى

### أ- السطوع الشمسى

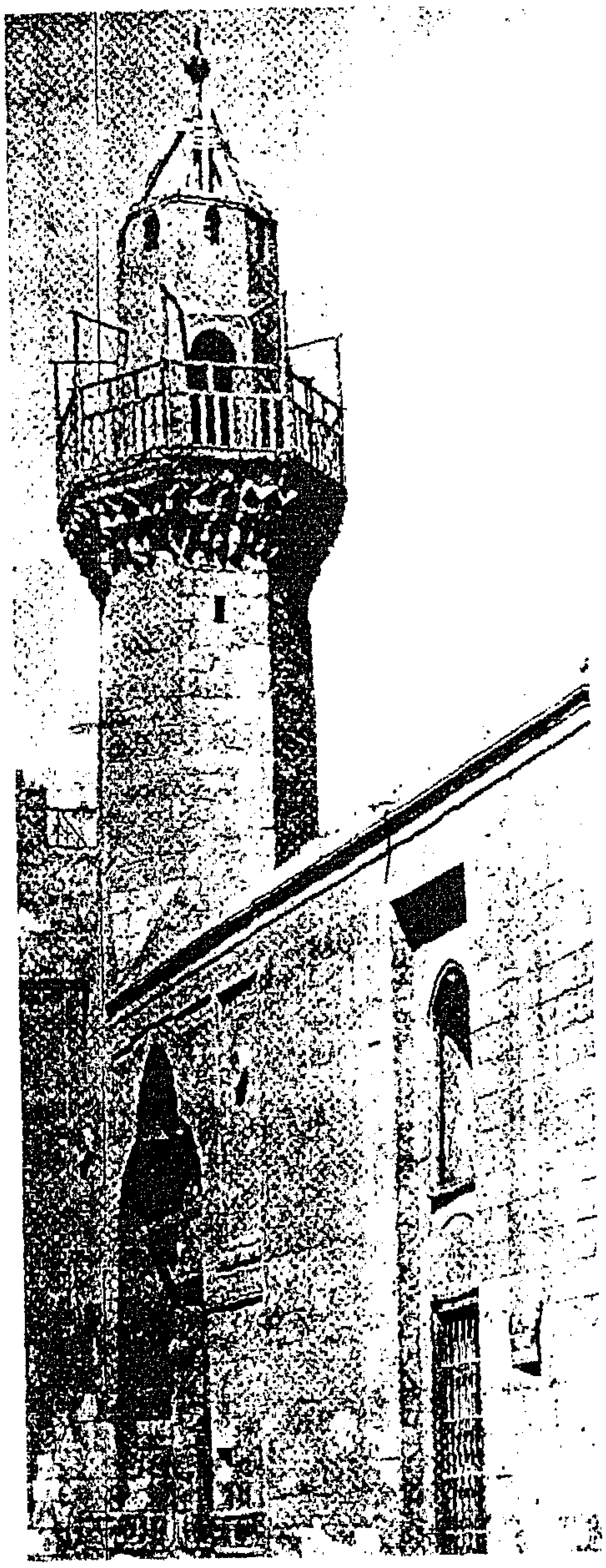
تعتبر النسبة المئوية لساعات سطوع الشمس النسبى لمدينة القاهرة مرتفعة حيث يبلغ المعدل النسبى لسطوع الشمس النسبى لها أكبر ما يمكن خلال شهور يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر وأكتوبر بقيمة (٨٥%-٨٠%) كما تبلغ أقل قيمة لها وهى (٧٠%-٦٥%) خلال شهرى ديسمبر ويناير (٣) وذلك كما يتضح من الجدول رقم (٩) حيث يمثل النسبة المئوية لساعات سطوع الشمس النسبى لمدينة القاهرة خلال ٣١ عاماً (١٩٦٨م-١٩٩٩م) .

---

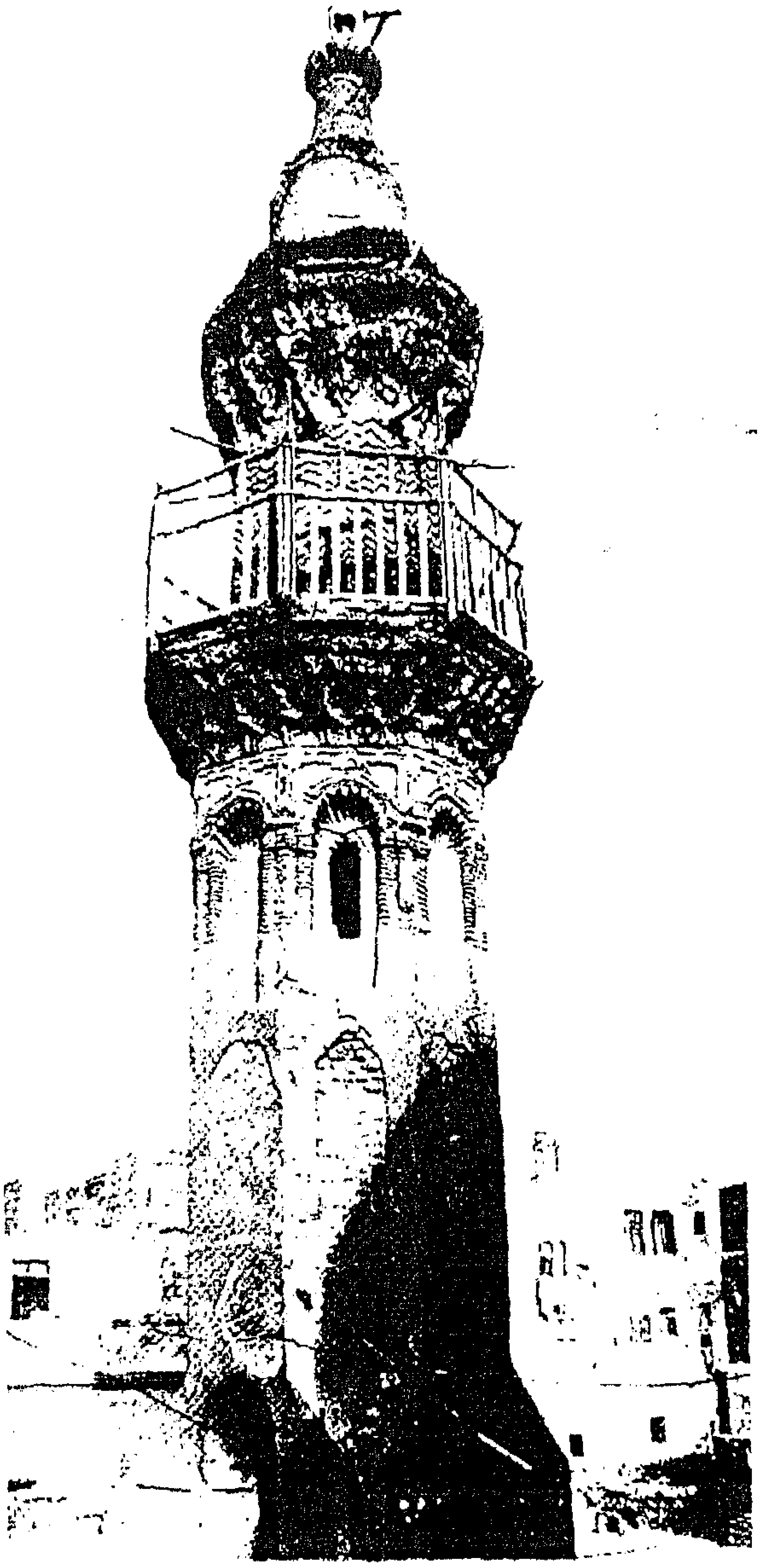
( 1) Feilden, B.M.:Op. Cit., 1982,P.103.

( 2) Feilden, B.M.: Op. Cit., 1982,P.104.

(٣ ) بسام محمد مصطفى : مرجع سابق ، ٢٠٠٠م ، ص٩٩، عن الهيئة العامة للأرصاد الجوية، إدارة المناخ



لوحة رقم ( ٢٩ )
مئذنة جامع المزهرية ويتضح تلف قمتها العثمانية



لوحة رقم ( ٣٠ )
مئذنة مدرسة جوهر اللالا ويتضح فيها تلف
طبقات الملاط الخارجية

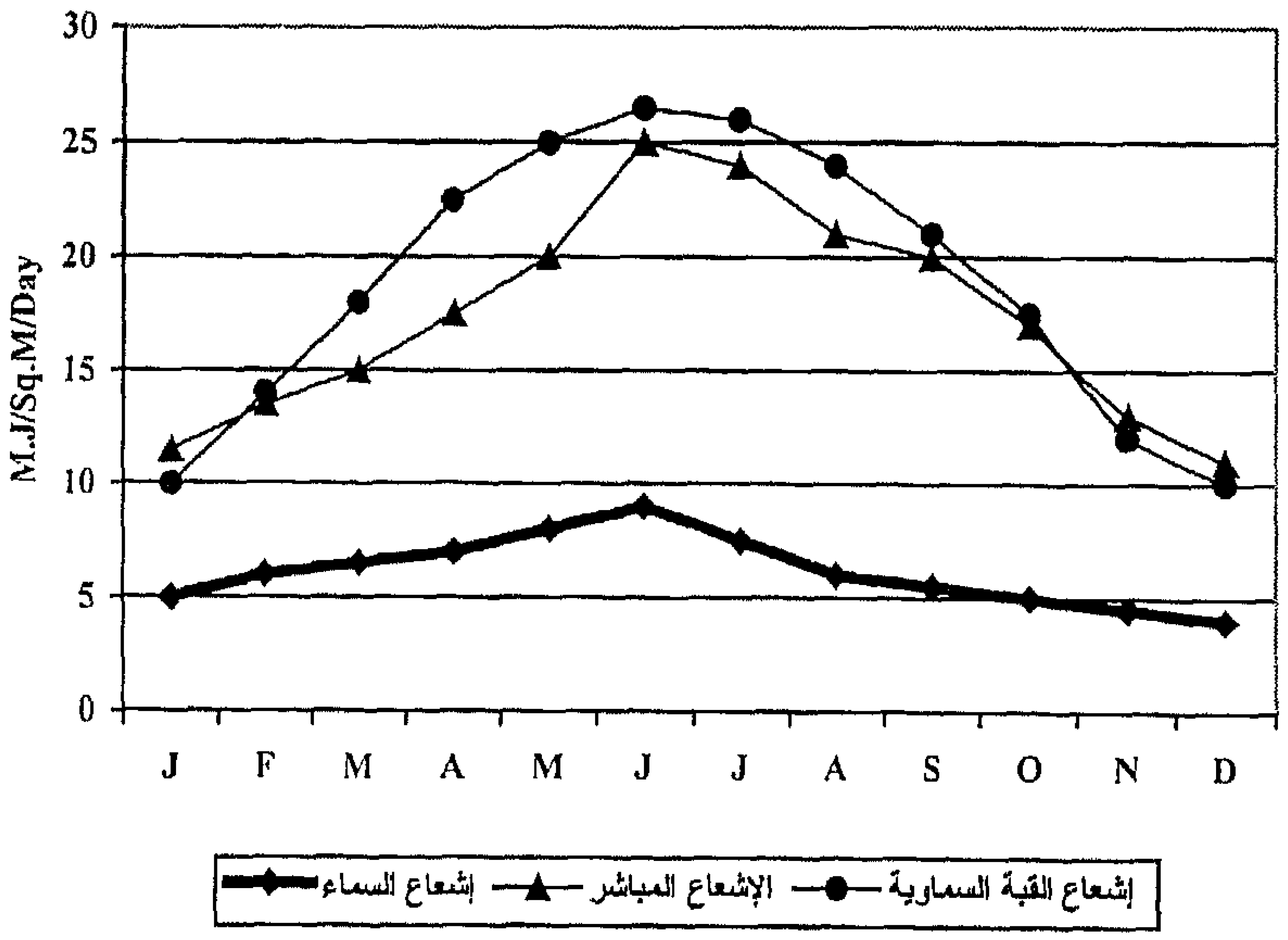
( عن سعاد ماهر ، مساجد مصر ج٤ )

## أ- الإشعاع الشمسى

يشمل الإشعاع الشمسى ثلاثة قيم هى إشعاع القبة السماوية وإشعاع السماء والإشعاع المباشر ويتم حساب الإشعاع الشمسى عن طريق أخذ المتوسط الشهرى للقيم اليومية لعناصر الإشعاع الثلاثة السابقة الذكر لمحطة القاهرة ويقاس الإشعاع الشمسى بوحدات ميجا جول /م٢ لكل يوم ويوضح شكل رقم (١٧) كمية ونوعية الإشعاعات الشمسية المختلفة بمدينة القاهرة كمتوسط ٣١ عاماً (١٩٦٨م حتى ١٩٩٩م).

**جدول رقم (٩ ) يوضح النسبة المئوية لساعات سطوع الشمس النسبى لمدينة القاهرة (متوسط ٣١ عاماً )**

| الشهر | المعدل النسبى لسطوع الشمس النسبى % |
|---|---|
| يناير | ٦٥-٧٠ |
| فبراير | ٦٠-٧٠ |
| مارس | ٧٠-٧٥ |
| إبريل | ٧٥-٨٥ |
| مايو | ٨٠-٨٥ |
| يونيو | ٨٠-٨٥ |
| يوليو | ٨٠-٨٥ |
| أغسطس | ٨٠-٨٥ |
| سبتمبر | ٨٠-٨٥ |
| أكتوبر | ٨٠-٨٥ |
| نوفمبر | ٧٠-٧٥ |
| ديسمبر | ٦٥-٧٠ |




**شكل رقم (١٧) يوضح كمية ونوعية الإشعاعات الشمسية المختلفة بمدينة القاهرة (متوسط ٣١ عام)**

ونجد أن إشعاع القبة السماوية لمدينة القاهرة يبلغ أقصى قيمة له خلال شهر يونيو وأقل قيمة له خلال شهر ديسمبر[١] ، أما بالنسبة لإشعاع السماء فإنه يصل إلى أكبر قيمة له خلال فصل الربيع (إبريل ومايو) وذلك لوجود العواصف الترابية والرمال المثارة وتبلغ أقل قيمة خلال شهر ديسمبر ويناير ويبلغ المدى السنوى للتغير حوالى ٦ ميجا جول /م٢ فى اليوم ، أما الإشعاع المباشر وهو الأكثر تأثيراً على المبانى الأثرية وعناصرها مثل المآذن فتكون أكبر قيمة له خلال شهر يونيو وأصغر قيمة خلال شهر يناير وذلك بمدينة القاهرة .[٢]

## (٢) درجة الحرارة Temperature

من خلال بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية لمتوسط درجات الحرارة بمدينة القاهرة خلال ٣١ عام (١٩٦٨م-١٩٩٩م) نجد أن المعدل السنوى لدرجة الحرارة العظمى ٢٩م° والمعدل السنوى لدرجة الحرارة الصغرى ١٣م° أما المعدل السنوى لدرجة الحرارة اليومية فيبلغ ٢٣م° كما يتضح من الجدول رقم (١٠).

**جدول رقم (١٠ ) يوضح متوسط القيم الشهرية المختلفة لدرجات الحرارة**
**خلال ٣١ عاماً (١٩٦٨م-١٩٩٩م) بمدينة القاهرة**

| الشهر | المعدل الشهرى لدرجة الحرارة العظمى م° | المعدل الشهرى لدرجة الحرارة الصغرى م° | المعدل الشهرى لدرجة الحرارة اليومية م° | القيمة الشهرية لأعلى درجة حرارة م° | القيمة الشهرية لأقل درجة حرارة م° |
|---|---|---|---|---|---|
| يناير | ١٨,٥ | ٧ | ١٢,٥ | ٣١,٥ | ٢,٥ |
| فبراير | ٢٢ | ٨ | ١٣,٥ | ٢٣,٥ | ٢,٥ |
| مارس | ٢٣,٥ | ٨ | ١٨,٥ | ٣٧,٥ | ٤ |
| إبريل | ٢٧,٥ | ١٢,٥ | ٢٢ | ٤٤,٥ | ٦ |
| مايو | ٣٢ | ١٧ | ٢٣,٥ | ٤٧,٥ | ١٠ |
| يونيو | ٣٣,٥ | ١٨ | ٢٧ | ٤٦,٥ | ١٥ |
| يوليو | ٣٤ | ٢٢ | ٢٨,٥ | ٤١ | ٧,٥ |
| أغسطس | ٣٣ | ٢٣ | ٢٧,٥ | ٤٤ | ١٥ |
| سبتمبر | ٣٢ | ٢٠ | ٢٧ | ٤٣ | ١١.٥ |
| أكتوبر | ٢٧,٥ | ١٧,٥ | ٢٣ | ٤١ | ٥ |
| نوفمبر | ٢٢ | ١٣,٥ | ١٨,٥ | ٣٦ | ٣,٥ |
| ديسمبر | ٢٠ | ٨,٥ | ١٧,٥ | ٣١,٥ | ٣ |
| المعدل السنوى لدرجة الحرارة العظمى | | | | ٢٩ م°. | |
| المعدل السنوى لدرجة الحرارة الصغرى | | | | ١٣ م° | |
| المعدل السنوى لدرجة الحرارة اليومية | | | | ٢٣ م° | |

(١ ) الهيئة العامة للأرصاد الجوية، إدارة المناخ

(٢ ) الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، المرجع السابق، إدارة المناخ

ونجد أن المعدل السنوى لعدد الأيام ذات درجة حرارة أكبر من ٣٥م° ، من ٣٠ إلى ٦٠ يوم فى السنة كما يتضح من الجدول رقم (١١) وذلك كمتوسط ٣١ عاماً ونجد أم المعدل السنوى (متوسط ٣١ عاماً ) لعدد الأيام ذات درجة حرارة اقل من ١٠ م° من ٦٠إلى ٩٠ يوم كما يتضح من الجدول رقم (١٢) .

**جدول رقم (١١) يوضح متوسط عدد الأيام ذات درجة الحرارة العظمى**
**خلال ٣١ عاماً بمدينة القاهرة (الهيئة العامة للأرصاد الجوية )**

| المعدل السنوى لعدد الأيام ذات درجة حرارة عظمى | درجة الحرارة العظمى | عدد الأيام |
|---|---|---|
| | > ٣٥ م° | ٦٠-٣٠ |
| | > ٤٠ م° | ١٠-٥ |
| | > ٤٥ م° | صفر – ٥ |

**جدول رقم (١٢) يوضح متوسط عدد الأيام ذات درجة حرارة صغرى**
**خلال ٣١ عاماً بمدينة القاهرة ( الهيئة العامة للأرصاد الجوية )[١]**

| المعدل السنوى لعدد الأيام ذات درجة حرارة صغرى | درجة الحرارة الصغرى | عدد الأيام |
|---|---|---|
| | > صفر م° | صفر – ٥ |
| | > ٥ م° | ٥ |
| | > ١٠ م° | ٩٠-٦٠ |

( عن هيئة الأرصاد الجوية)

ويتضح مما سبق تفاوت واختلاف كميات ونوعيات الإشعاعات الشمسية على مدينة القاهرة خلال الفترات المختلفة من السنة وكذلك التغيرات الكبيرة سواء اليومية أو الشهرية أو الموسمية وهذه التغيرات تساهم بشكل كبير فى تلف المآذن الأثرية ، أما فى حالة وجود عناصر خشبية فى المآذن الأسرية فأنها تتعرض لتغير اللون والأصفرار وقد يظهر فى بعض الأنواع غمقان فى اللون إلى حداً كبير وتغير اللون يمكن أن يحدث أيضاً داخل الخشب المعرض لإشعة الشمس نظراً لنفاذ الأشعة فوق البنفسجية الموجودة فى ضوء الشمس جزئياً داخل الخشب وفى بعض الأحيان نجد أن لون الخشب يصبح أكثر بياضاً لتعرضه لإشعة الشمس [٢].

## ٣ـ المياه الأرضية Ground Water

من أهم عوامل التلف التى تعانى منها المآذن الأثرية خاصة المنفصلة أو المستقلة منها عن المبانى الأثرية حيث أنها مقامة مباشرة على التربة وتتعرض بشكل مستمر للمياه الأرضية وما بها من أملاح ذائبة وكائنات حية دقيقة وقد كانت مصر تتعرض للفيضان قبل بناء السد العالى بينما بعد بناء السد العالى فى أعالى النيل أصبح منسوب المياه ثابتاً فى النيل خلال العام ويتراوح ما بين ١٦,٥ متر إلى ١٧ متر من منسوب مستوى سطح البحر وبذلك ارتفع

(١) بسام محمد مصطفى : مرجع سابق ، ٢٠٠٠م ، ص٩٩ ، نقلا عن الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ .

( 2) Core H.A., And Cote W.A.: Wood Structure And Identification, Syracuse University Press, New York, 1979, P.63.

منسوب النيل عن منسوبة قبل بناء السد العالى [١] مما أدى إلى وصول المياه الأرضية إلى الكثير من اساسات المبانى الأثرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية مما أدى إلى تلفها وضعف وتحلل وتفكك فى التربة الحاملة لها ويمثل ارتفاع منسوب المياه الأرضية نتيجة تهالك شبكات الصرف الصحى من جهة وعدم وجود شبكات صرف صحى فى العديد من المناطق العشوائية من جهة أخرى العامل الرئيسى المسبب لتلف الكثير من اساسات وجدران المبانى الأثرية وعناصرها المعمارية ومنها المآذن ومن المعروف أن استهلاك مياه الشرب بالقاهرة قد بلغ حوالى ٤ مليون متر مكعب يومياً بينما لا تستوعب شبكه الصرف الصحى إلا حوالى [٢] ٢ مليون متر مكعب يومياً وعليه فإن حوالى ٢ مليون متر مكعب من المياه يتسرب إلى التربة الأمر الذى أدى إلى ارتفاع منسوب المياه الجوفية بشكل خطير حيث أصبحت نسبة كبيرة من اساسات المبانى الأثرية مغمورة بصفة دائمة فى مياه الرشح والصرف الصحى وارتفعت مياه الرشح فى العديد من الآثار فوق منسوب أرضيتها مما أدى إلى غلق بعض الآثار ، وحدوث هبوط نسبى للعديد من اساسات المبانى الأثرية الأمر الذى أدى إلى وجود شروخ فى الجدران والعقود وكذلك إنهيار جزئى فى بعض المبانى الأثرية وظهور ميل قد يصل لحد الخطورة فى العديد من المآذن الأثرية [٣]. وفيما يلى سوف نتناول بالدراسة هيدرولوجية المياه الجوفية بمنطقة القاهرة الكبرى والصفات الهيدروجيولوجية للخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى .

## هيدرولوجية المياه الجوفية بمنطقة القاهرة الكبرى

يمتد إقليم القاهرة الكبرى بين حلوان جنوباً والقناطر الخيرية شمالاً لمسافة حوالى ٥٠كم ويحد الإقليم من الشرق هضبة المقطم و إمتداداتها الشرقية والتى يصل ارتفاعها إلى حوالى ٢٠٠ متراً فوق سطح البحر وتمتد بحافتها إلى غرب مدينة السويس ويحده من الغرب مرتفعات أبورواش والهضاب الغربية ويصل ارتفاعها إلى حوالى ١٠٠ متراً فوق سطح البحر وتبلغ مساحة الإقليم حوالى ١٢ كيلو متر مربع [٤]

## الصفات الهيدروجيولوجية للخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى

من خلال الدراسات الهيدروجيولوجية للخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى والتى اعتمدت على نتائج حفر الآبار والجسات التى قام بها معهد بحوث المياه الجوفية واتضح من ذلك أن الخزان الجوفى بالإقليم يتبع فى إمتداداته النوع شبه المحصور بالمناطق المتاخمة للنيل يتحول إلى خزان حر كلما اتجهنا شرقاً وغرباً بجوار الأطراف الشرقية والغربية وبذلك يمكن تقسيم الطبقات التكوينة للخزان الجوفى كما يلى :-

### أ- الطبقة الطينية السطحية ( الغطاء السطحى)

يتكون الغطاء السطحى الذى يعلو الخزان الجوفى اساسا من نوعين رئيسين هما :-

---

( 1) Oestrreish, D..M. :The Ground Water Rise In The East Of Cairo And Its Impact On Historic Buildings Geoscientific Research In North East Africa, Thorweihe And Schandelmeier, Rotterdam, 1993,Pp.371-319 .

(٢ ) عزت عبد الشافعى : نحو صيانة بيئية متكاملة للآثار الإسلامية ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات الطراز المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، ١٩٩٣م، ص ٣ .

(٣ ) عزت عبد الشافى – مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٣ .

(٤ ) التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى ، وزارة الرى مركز البحوث المائية ، يناير ، ١٩٩١م .

١- الردم الذى يتكون اساساً من بقايا المدن القديمة ( الفسطاط وغيرها ) ومن مخلفات مواد البناء المختلفة وتظهر طبقات الردم بسفوح هضبة المقطم ويتراوح سمك هذه الطبقة ما بين ٢-١٠ متر .

٢- الرواسب النهرية وهى الترسيبات التى كونها نهر النيل وهذه الرواسب تتكون من السلت والطين أو السلت والطين والرمل المتدرج حيث تتميز هذه الرواسب بأنها شبه منفذه حيث تلعب دوراً هاماً فى تغذية الخزان الجوفى .

## ب- الطبقات الرملية والزلطية للخزان الجوفى

تلى الطبقة السابقة وتتكون من الصخور الرسوبية النيلية التابعة للعصر الرباعى وتكويناتها من الرمال والحصى المتدرج كما أنها تتفاوت فى عمقها من منطقة لأخرى بإقليم القاهرة الكبرى ويتخللها أحياناً عدسات طينية محدودة السمك والانتشار ونظراً لوجود التراكيب الجيولوجية المعقدة لمنطقة إقليم القاهرة الكبرى وما نتج عنها من ظهور فوالق وصدوع وكسور أدت إلى هبوط جزء من الخزان الجوفى إلى اسفل وظهور عصر البليوسين الأعلى على جانب الخزان كما يتضح من شكل رقم (١٨) .

## الطبقة الطينية السفلى

توجد هذه الطبقة فى قاع الخزان الجوفى وتتكون من طين شديد التماسك كما أنها توجد متبادلة مع طبقات الرمل والزلط والحصى ويرجع تكوينها إلى عصر البليستوسين .

## المصادر الرئيسية لمياه الخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى

توجد مصادر متعددة رئيسية لمياه الخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى وهى كما يلى :-

### ١- مياه الأمطار

يعتبر معدل سقوط الأمطار على إنحاء القاهرة الكبرى قليلاً حيث يصل معدلها إلى حوالى ٤٠ ملليمتر فى العام فى حين أن هذه الكمية من الأمطار تزداد بالنسبة لمنطقة المرتفعات والهضاب الشرقية وأى عواصف أو سيول تحدث على الهضاب الشرقية تؤدى إلى تحرك مياه الأمطار إلى سفح هذه الهضاب ومنه إلى المناطق المنخفضة التى تساعد على تسرب جزء منها إلى الخزان الجوفى ولكن هذه السيول تحدث على فترات متباعدة مما يجعل تأثير الأمطار محدودة على الخزان الجوفى [١]

### ٢- المجارى المائية ونهر النيل

يخترق نهر النيل الأراضى المستوية ويعتبر فاصلاً هيدروليكياً بين شرق وغرب الإقليم و أظهرت الدراسات الهيدرولوجية بأن هناك اتصال هيدروليكى بين مجرى النيل والخزان الجوفى ويرجع ذلك للتكوين الجيولوجى لمجرى النيل الذى يشق مجراه خلال الطبقات السطحية الطينية وكذلك طبقات الخزان الجوفى من الرمل المتدرج والزلط مما يساعد على وجود اتصال هيدروليكى مباشر بين مياه النهر ومياه الخزان الجوفى وظهر ذلك من متابعة مناسيب المياه الجوفية بآبار الرصد المنتشرة بالمنطقة ومقارنتها بمناسيب النيل [٢].

---

(١ ) التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى ، وزارة الرى ، مركز البحوث المائية، يناير ١٩٩١م.

(٢ ) التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة اكبرى ، يناير ١٩٩١م .

## ٣- شبكات مياه الشرب والصرف الصحى

### أ- شبكات مياه الشرب

من البيانات التى تم تجميعها من مرفق مياه الشرب بإقليم القاهرة الكبرى تبين أن الكميات المستغلة للشرب والاستخدامات المختلفة يمكن توضيحها فى الجدول رقم (١٣) كما يلى

**جدول رقم (١٣) يوضح الاستخدامات المختلفة لمياة الشرب بإقليم القاهرة الكبرى**

| بيان | إجمالى الإنتاج للمحطات متر مكعب / اليوم | إجمالى الإنتاج للمحطات متر مكعب / السنة |
| --- | --- | --- |
| مياه مرشحة | ٢٠٠٠٠٠٠ | ٧٣٠٠٠٠٠٠٠ |
| مياه جوفية للآبار | ٤٢٤٠٠٠ | ١٥٥٠٠٠٠٠٠ |
| مياه مرشحه وجوفية (إجمالى) | ٢٤٢٤٠٠٠ | ٨٨٥٠٠٠٠٠٠ |

(عن سهير أبو العلا ، ٢٠٠٠ م)

ولقد تم حصر الكميات المستهلكة من مياه الشرب بإقليم القاهرة الكبرى حيث وصلت لحوالى ٢,٤ مليون متر مكعب/اليوم[١] وتبلغ قيمة الفاقد من شبكه التوزيع حوالى ٦٠% ويتسرب جزء من هذا الفاقد إلى الخزان الجوفى كمصدر من مصادر التغذية [٢] .

### ب- شبكات الصرف الصحى

يبلغ طول شبكة الصرف الصحى بإقليم القاهرة الكبرى حوالى ٤٠٠٠ كيلو متر وتسير المياه فى المواسير بالجاذبية الأرضية بخلاف شبكة المواسير الصاعدة فتكون المياه تحت ضغط إلى محطات التنقية ، ونظراً لأن هذه الشبكة نفذت منذ وقت كبير لذلك أصبحت لا تستوعب الكميات التى تأتى إلى الشبكة المتزايدة باستمرار مما ساعد على تسرب المياه بنسبة كبيرة وصلت إلى حوالى ١٠% من الكميات المارة بالشبكة [٣] ويتسرب جزء كبير من هذه المياه إلى الخزان الجوفى .

بالإضافة للمصادر الرئيسية التى تم ذكرها للخزان الجوفى بإقليم القاهرة الكبرى توجد مياه جوفية عميقة تعتبر مصدراً رئيسياً لبعض العيون الطبيعية .

## حركة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى

### ١- اتجاه الحركة الراسية

المقصود بالاتجاه الرأسى أن حركة المياه تحدث من أعلى إلى اسفل وبالعكس وينتج عن هذه الحركة تبادل المياه الموجودة فى الطبقة السطحية مع المياه الجوفية بطبقات الخزان الجوفى تبعاً لفروق مناسيب المياه الموجودة وغالباً ما يكون منسوب المياه بالطبقة السطحية ( مياه الرشح) أعلى من منسوب المياه بطبقات الخزان الجوفى بمقدار يتراوح من صفر – ٢ متر وينتج عن ذلك حركة رأسية عن أعلى إلى اسفل وتعتبر هذه المياه المصدر الرئيسى لزيادة الضغوط البيزومترية بالخزان الجوفى خاصة بمناطق شرق النيل .

---

(١ ) سهير أبو العلا ومحمد أنور الديب ، نهر النيل والتلوث ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، سلسلة قضايا بيئية معاصرة ، ٢٠٠٠م ، ص٥٣ .

(٢ ) التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى ، يناير ١٩٩١م .

(٣ ) مبروك سعد النجار : تلوث البيئة فى مصر ، المخاطر ، والحلول ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩١م ، ص٩٣.

### ٢-اتجاه الحركة العرضية

سبق أن ذكرنا وجود اتصال هيدروليكي ينتج عن حركة متبادلة بين مياه النيل والخزان الجوفي من المواقع ذات الضاغط الأعلى إلى المواقع ذات الضاغط الأقل سواء كانت هذه الحركة من النيل إلى الخزان الجوفي أو العكس(١).

### ٣-اتجاه الحركة الطولي

المقصود به حركة المياه الجوفية من الجنوب إلى الشمال أى من المناطق جنوب حلوان والجيزة فى اتجاه الشمال وتنحدر الأرض الطبيعية ما بين أسوان وحلوان والجيزة بانحدار متوسط يتراوح ما بين ٦-٨ سم/ كيلو متر وبالتالى يحدث انحدار للمياه الجوفية ويزداد هذا الانحدار فى المناطق التى بها محطات سحب (٢) ، وتتوقف كمية المياه التى تمتصها الأحجار على درجة مسامية هذه الأحجار وعلى معدلات الحرارة والرطوبة فى الوسط المحيط وتزيد الأملاح الذائبة فى المياه الأرضية من خطورة هذه المياه(٣) كما تحتوى المياه الأرضية على الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتريا والفطريات والأشنة والطحالب(٤) والتى تفرز أحماضاً عضوية تتفاعل مع تكوينات الحجر الجيرى المستخدم لبناء المآذن(٥) الأثرية وتؤدى إلى تحوله إلى ملح الجبس $CaSO_4 . 2H_2O$ كما تؤدى إلى تشويه الأسطح الحجرية لهذه المآذن وتحلل وتفكك المونات الرابطة بين كتل الحجر الجيرى المستخدمة فى البناء(٦) .

## ٤ ـ تبلور الأملاح Salt Crystallization

يعتبر التلف بفعل تبلور الأملاح من أهم عوامل تلف المآذن الأثرية حيث تتبلور Crystallize الأملاح فى المسام Pores والفجوات Voidesالموجودة في مواد البناء Building Materials سواء المونات Mortars أو الأحجار الجيرية Limestones وغيرها من مواد البناء ومن أهم مظاهر تلف المآذن الأثرية بفعل تبلور الأملاح هو تزهر الأملاح Efflorescence على السطح(٧) أو تآكل السطح Surface Erosion حيث يتكون مظهر يشبه خلايا النحل Honey Combs (٨) وهذه المظاهر تؤدى إلى تقادم مواد بناء المآذن الأثرية وتؤثر على إتزانها الإنشائى ، ومصادر الأملاح التى تؤدى لتلف المآذن الأثرية متعددة منها المياه الأرضية بما تحمله من أملاح ذائبة فيها على هيئة محاليل ملحية خاصة المآذن المقامة مباشراً على التربة ومتصلة بها اتصالاً مباشراً ، وكذلك الأملاح الناتجة عن التفاعلات الكيميائية التى تحدث بين الأمطار الحمضية Acid Rain أو مياه التكثف فى وجود الغازات

---

(١، ٢ ) التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى ، وزارة الرى ، مركز البحوث المائية يناير ، ١٩٩١م .

(٣ ) محمد عبد الهادى محمد و بدوى محمد إسماعيل : تلف المبانى الأثرية بالقاهرة وطرق صيانتها وتأهيلها ، المؤتمر العربى لترميم وإعادة تأهيل المنشآت ، المجلد الثانى ، القاهرة ، سبتمبر ١٩٩٨م ، ص ١٠١٩ - ١٠٢٠ .

(٤ ) محمد عبد الهادى محمد و بدوى محمد إسماعيل : المرجع السابق ، ١٩٩٨م ، ص١٠٢٠ .

( 5) Oestrreich, D.M. : The Ground Water Rise In The East Of Cairo And Its Impact On Historic Buildings, Geoscientibic Research In North East Africa, Thorweihe And Schandelmeier, Rotterdam, 1993,P.719.

(٦) عبد المعز شاهين : ترميم وصيانة المبانى الثرية والتاريخية ، وزارة المعارف ، الإدارة العامة للآثار والمتاحف ، المملكة العربية السعودية ، ١٩٨٢م ، ص٢٦٥ .

( 7) Elmofty , S.M.: Growth And Formation Of New Crystals On Ancient Stone And Mortar Mixes , Journal Of The Egyptian Society Of Engineers , Vol.42, No.1,2003,P.34.

( 8) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Germany, 2000,P.39 .

الملوثة فى الجو مثل $SO_2$ [١] والتكوينات المعدنية لأحجار المآذن الأثرية ، وكذلك الأملاح الموجودة داخل الأحجار بشكل طبيعى كشوائب ضمن التكوينات المعدنية للأحجار ومن الأسباب الأخرى لوجود الأمـــلاح اســتخدام مــواد تنظيف كيميائية Chemical Cleaners أثناء عمليات الترميم قد تؤدى إلى تكوين أملاح على السطح أو بداخل [٢] ويتوقف المكان الذى تتبلور فيه الأملاح سواء داخل الحجر أو أسفل الطبقة السطحية أو على السطح علــى عمليـة البخر Evaporation للماء ويمكن ملاحظة ظاهرة تزهر الأملاح Efflorescence على السطح حيث أنها تترك بقعاً بيضاء على أسطح الأحجار ومواد البناء الأخرى مثل المونات والطوب المحروق (الآجر)[٣] وتعتبر هذه البقـع البيضاء الناتجة عن تزهر الأملاح فى بعض الأحيان مؤشراً على ارتفاع محتوى الرطوبة بالجدران الحجرية [٤] بل أنها فى حالات كثيرة تعطى دلالة على درجة التلف التى تعرض لها المبنى الأثرى بعناصره المختلفة ومنها المـآذن الأثرية ، ويطلق على بلورات الأملاح التى تنمو بين مواد البناء مصطلح Subflorescence وفى بداية حدوث هذا المظهر من التلف لا نستطيع ملاحظته حيث لا يظهر على السطح ولا تكون له دلالات واضحة يمكــن ملاحظتــها وخلال هذه العملية نجد أن هناك محاليل ملحية تتحرك لتنتقل من داخل الجدران الحجرية إلى السطح الخارجى للأثر وذلك خلال عملية تبخر الماء من المحاليل الملحية حيث تترسب الأملاح فى المسام والفراغات الموجودة[٥] وبعـــد عملية تبلور الأملاح تتولد عنها ضغوط داخلية من الممكن أن تؤدى إلى شروخ فى نسيج الأحجـــار وفـــى بعــض الحالات تتحول حبيبات الأحجار المتماسكة إلى مسحوق بفعل فقدانها للمادة اللاحمة بين حبيباتـــها وانفصـــال هـــذه الحبيبات [٦] ، والمحاليل الملحية التى تحتوى على أملاح ذائبة مثل الكلوريدات Chlorides والنـــترات Nitrates تكون على درجة عالية من الخطورة عند تبلورها أما الأملاح شحيحة الذوبان أو غير القابلة للذوبان فى الماء مثـــل ملح الجبس $CaSO_4 .2H_2O$ [٧] فتتبلور على أسطح المآذن الأثرية تكوينة طبقة ملحية صلبة Hard Crust وهـــذه الطبقة تكون مختلفة كيميائياً وفيزيائياً فى خواصها عن طبقات الأحجار الجيرية الأصلية الموجودة أسفلها .

## الضغط الناشئ عن تبلور الأملاح Crystallization Pressure

ينتج عن البلورات التى تنمو من خلال الأملاح القابلة للذوبان ضغوط وإجهادات تتفاوت فى شـــدتها وذلـــك داخـــل القنوات الشعرية الموجودة داخل الأحجار والتى ربما تؤدى إلى حدوث تلف سريع وكامل للأحجار [٨] فى المـــآذن

---

(1) Diar- Pache, F: Early Mechanisms Of Development Of Sulphated Black Crusts On Carbanate Stone, In : 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000, P.324.

(2) Weber, H. And Zinsmeister, K. : Op. Cit., 2000, P.40 .

(3) Elmofty , S.M.: Growth And Formation Of New Crystals On Ancient Stone And Mortar Mixes , Journal Of The Egyption Society Of Engineers , Vol.42, No.1,2003,P.34.

(4) Christine, B.: Assessment Of Quantitative Salt Analysis By The Water Extraction Method On Lime Mortars, In International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, 8th Germany, 1996,P.1505.

(5) Elmofty , S.M.: Growth And Formation Of New Crystals On Ancient Stone And Mortar Mixes , Journal Of The Egyption Society Of Engineers , Vol.42, No.1,2003,P.34.

(6) Weber, H And Zinsmeister, K.: Op. Cit., 2000,P.40.

(7) Lewin, S.Z. : The Mechanism Of Masonry Decay Through Crystallization, London, 1984,P.212 .

(8) Oliver, A.: Dampness In Buildings, B.S.P. Professional Books, Oxford, London, 1988,P.149.

الأثرية وهناك مجموعات متنوعة من الأملاح تنو بلوراتها وتؤدى لحدوث التلف وتتضح بعض هذه الأملاح [١] مـن خلال جدول رقم (١٤)

جدول رقم (١٤) يمثل بعض أنواع الأملاح التى تتبلور داخل أحجار المآذن الأثرية

| نوع الملح | الاسم | التركيب الكيميائى |
|---|---|---|
| أملاح الكبريتات Sulfates | كبريتات الماغنسيوم Magnesium Sulfate | $MgSO_4 . 7H_2O$ |
| | كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) Calcium Sulfate Hydrate | $CaSO_4 . 2H_2O$ |
| | كبريتات الصوديوم Sodium Sulfate | $Na_2SO_4 . 10H_2O$ |
| أملاح الكربونات Carbonates | كربونات الصوديوم Sod. Carbonate | $Na_2CO_3 . 10\ H_2O$ |
| | كربونات البوتاسيوم Pott. Car. | $K_2\ CO_3$ |
| | كربونات الكالسيوم Cal. Car. | $Ca\ CO_3$ |
| أملاح النترات Nitrates | نترات الماغنسيوم Magnesium Nitrate | $Mg(NO_3)_2 . 6H_2O$ |
| | نترات الكالسيوم Calcium Nitrate | $Ca(NO_3)_2 . 4H_2O$ |
| أملاح الكلوريدات Chlorides | كلوريد الصوديوم Sodium Chloride | $NaCl$ |
| | كلوريد الكالسيوم Calcium Chloride | $Ca\ Cl_2 . 6H_2O$ |

(After Weber, 2000)

وتترسب هذه الأملاح من المحاليل الملحية المشبعة وينتج عنها ضغوط مختلفة يمكن حسابها لكل ملح من الأمـــلاح المختلفة من خلال العلاقة التالية : [٢]

$$P = \frac{RT}{V} . \frac{C}{C_s}$$

حيث P = الضغط الناشئ عن تبلور الملح

R = ثابت الغازات

T = درجة الحرارة مقدره بالكلفن .

V = الحجم الجزئى للملح الصلب المتبلور

C = التركيز الفعلى للمحلول الملحى أثناء عملية تبلور الأملاح

$C_s$ = تركيز المحلول المشبع تماماً بالأملاح

---

(1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Op. Cit., 2000, P 41

(2) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Op. Cit., 2000, P.42.

## ٥ - تأثير الرياح Effect Of Wind

تنتج الرياح بفعل الضغوط الجوية المختلفة فى نظام الطقس وعند دراسة تأثير الرياح على المآذن الأثرية لابد من معرفة اتجاهها وسرعتها وتقاس سرعتها بوحدة عقدة/ ثانية وتختلف سرعة الرياح فى الارتفاعات المختلفة كما ينتج عنها اضطراباً فى حركة تكوينات الهواء ولا يستطيع المنشأ الأثرى الصمود أمام تأثير الرياح بعد إنشائه إذا لم يكن بالقوة الكافية والتماسك الضرورى لتحمل الضغوط الناشئة عن الرياح ولكن فيما بعد وإذا تعرضت المآذن لضغوط إضافية زائدة من تأثير الرياح قد تتأثر ولكن ربما ليس بالقدر الذى يؤدى إلى انهيارها أو فقدانها للاتزان ومن الناحية النظرية فإن الضغوط الناشئة عن الرياح تسبب وجود قوى شد فى اتجاه هبوب الرياح خاصة فى المبانى المرتفعة المسلوبة إلى حد ما [١] مثل الأبراج والمآذن ، وتسبب الرياح تآكل خارجى لأسطح مواد البناء المختلفة وإذا كانت الرياح تحمل حبيبات معلقة صلبة فإنها تعمل على نحر الأسطح الحجرية وإتلافها بأن تحدث حفر أو فجوات كبيرة فى الأسطح الحجرية خاصة إذا ما اصطدمت بها بسرعة عالية وكانت صلادة الأحجار منخفضة إلى حد ما مثل الأحجار الجيرية [٢]، وتؤثر حركة الهواء الناتجة عن الرياح فى سرعة حدوث عملية البخر مما يؤدى إلى تبلور الأملاح فى البنية الداخلية بين تكوينات الأحجار حيث لا تستطيع الأملاح فى هذه الحالة الاتجاه نحو الخارج والتزهر على الأسطح الحجرية وبذلك تنشأ ضغوط وإجهادات داخلية تؤدى إلى تلف تكوينات المآذن الأثرية من مواد البناء المختلفة ويزداد تأثير الرياح عندما تكون ذات سرعة كبيرة وتحمل ذرات وحبيبات من الأتربة والرمال حيث تحمل الرياح هذه الذرات والحبيبات وتصطدم بالأسطح الحجرية [٣] للمآذن الأثرية مما يؤدى إلى تأكلها وظهور تجاويف غائرة على الأسطح مما يسرع من ميكانيكية عمليات البخر وتبلور الأملاح كما أن الرياح فى المناطق الساحلية تحمل رذاذ البحر بما يحتويه من أملاح ذائبة وتنقله إلى أسطح المآذن الأثرية حيث يؤدى إلى نفس التأثير من البخر والتآكل بالإضافة إلى ذلك تحمل الرياح مياه الأمطار وتدفعها إلى الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية حيث تؤدى إلى تلف شديد خاصة فى حالة وجود تلوث جوى ويحدث ذلك فى المدن الصناعية ومنها مدينة القاهرة ويعتبر هذا التأثير أخطر التأثيرات الناتجة عن الرياح حيث تسبب تلف داخلى للأحجار بما تحمله من حبيبات معلقة فى الهواء أو أكاسيد ملوثة تنتقل إلى الأسطح الحجرية أو تؤدى إلى إذابة الملوثات التى ترسبت بالفعل على أسطح المآذن الأثرية وتنتشر مياه الأمطار داخل الأحجار بعد تشبع أسطحها وذلك من خلال الشروخ والتصدعات والمسام حيث تؤدى إلى تحلل وتفكك وتلف الأحجار ومواد البناء المختلفة [٤].

### قياسات الرياح بمدينة القاهرة

قامت الهيئة العامة للأرصاد الجوية بإعداد بيانات خاصة باتجاهات الرياح خلال فصول السنة الأربعة وكذلك متوسط سرعة الرياح ( عقدة / ثانية ) وذلك خلال ٣١ عاما ( من ١٩٨٦ إلى ١٩٩٩ ) وقد اتضح من خلال قياسات الرياح السطحية لمدينة القاهرة أن الرياح الجنوبية الغربية هى السائدة خلال فصل الشتاء بمتوسط سرعة حوالى ١٦,٥ عقدة / ثانية فى حين تكون الرياح السطحية الشمالية الغربية هى السائدة خلال فصل الصيف وبمعدلات تكرار أعلى مقارنة بنظيراتها فى فصل الشتاء كما يبلغ متوسط سرعتها حوالى ١٩,٥ عقدة/ ثانية أما فى

---

( 1) Feilden, B. M. : Conservation Of Historic Buildings , London, 1982,P.107.

( 2) Elizabith, A.B. : Op. Cit., 2000,P.303

( 3) Feilden, B. M. :Op. Cit., 1982,P.109.

( 4) Ibid ., 1982,P.109.

فصل الربيع فتسود الرياح الشمالية إلى الشمالية الشرقية وبمعدلات تكرار أعلى من معدلات تكرارها شتاء وبسرعة تصل إلى ٥,٩ عقدة / ثانية وتعد الرياح الشمالية إلى الشمالية الشرقية هى الرياح السائدة فى فصل الخريف [١] وبمعدلات تكرار قد تصل إلى ضعف المعدلات السائدة شتاءا وسرعة الرياح تقترب من ١٣ عقدة / ثانية ويوضح الجدول رقم (١٥) متوسط سرعة الرياح واتجاهها خلال ٣١ عاما (١٩٦٨ م – ١٩٩٩ م ) فى الفصول الأربعة بمدينة القاهرة [٢]

**جدول رقم (١٥ ) يوضح متوسط سرعة الرياح واتجاهاتها بمدينة القاهرة خلال ٣١ عاما(١٩٦٨ م –١٩٩٩م) فى فصول السنة الأربعة**

| الفصل | إتجاه الرياح | متوسط السرعة عقدة / ثانية |
|---|---|---|
| الشتاء | سطحية جنوبية غربية | ١٦,٥ |
| الصيف | سطحية شمالية غربية | ١٩,٥ |
| الربيع | سطحية شمالية إلى شمالية شرقية | ٥,٩ |
| الخريف | سطحية شمالية إلى شمالية شرقية | ١٣ |

( عن هيئة الأرصاد الجوية )

يتضح مما سبق تنوع إتجاهات الرياح خلال الفصول المختلفة واختلافاتها فى الشتاء والصيف بصفة خاصة إلى جانب اختلاف سرعتها مما يؤدى إلى وجود تأثير هام للرياح على المآذن الأثرية خاصة فى وجود تلوث الهواء بمدينة القاهرة الصناعية إلى جانب وجود الرطوبة بمصادرها المختلفة سواء مياه الأمطار ( وإن كانت قليلة بشكل نسبي ) ومياه التكثف والمياه الأرضية الموجودة فى التربة الحاملة للمآذن الأثرية والتى يرتفع منسوبها فى الكثير من المواقع الأثرية بمدينة القاهرة حيث تؤدى إلى المزيد من التلف للمآذن الأثرية وتقادم وتآكل مواد بنائها المختلفة.

## ٦. التلوث الجوى Air Pollution

تعانى المآذن الأثرية بمدينة القاهرة بشكل كبير من تأثير التلوث الجوى المتلف عليها حيث تعتبر مدينة القاهرة من المدن الصناعية حيث تضم ٥٥ % من عدد الوحدات الصناعية بمصر وتوجد هذه الوحدات الصناعية فى ٢٨ موقعا منتشرة فى أنحاء المدينة وأشهر هذه المواقع التى توجد بها الوحدات الصناعية منطقة شبرا الخيمة الصناعية شمالا ومنطقة حلوان الصناعية جنوبا [٣] ، يعرف عالم البيئة (Odum) التلوث البيئي بأنه أى تغيير فيزيائي أو كيميائي أو بيولوجي يؤدى إلى تأثير ضار على الهواء أو الماء أو الأرض[٤]، أما تلوث الهواء فيعرف بأنه إدخال مباشر أو غير مباشر لأى مادة فى الغلاف الجوى بالكمية التى تؤثر على نوعية الغلاف الجوى الخارجى وتركيبة ، ويتكون الهواء من مزيج من غازات النيتروجين والأكسجين حيث يكونان معاً نسبة ٩٩% من حجم خليط الغازات

---

(١) ، (٢) بسام محمد مصطفى : مرجع سابق ، ٢٠٠٠ م ، ص ٩٩ ، نقلا عن الهيئة العامة للأرصاد الجوية ، إدارة المناخ

(٣) عمر محمد الصادق : الصناعة وتلوث البيئة فى مدينة القاهرة ، دراسة تطبيقية على منطقتى شبرا الخيمة وحلوان ، ندوة عن الجغرافيا ومشكلات تلوث البيئة ، الجمعية الجغرافية المصرية ، أبريل ١٩٩٢ م ، ص ٦٤-٧٥

(4) Odum , E.P. : Ecology The Link Between The Natural And Social Sciences, Holt Rinebart And Winston, Net Work, 1989,P.8.

إلى جانب بخار الماء الذى يوجد بنسب متفاوتة تتراوح من ٠,١ % إلى ٥ % بالإضافة إلى ثانى أكسيد الكربـــون وبعض الغازات الخاملة مثل غاز الأرجون [١] .

## الملوثات الهوائية

تنقسم الملوثات الهوائية طبقاً لخواصها الفيزيائية إلى ملوثات صلبة وملوثات سائلة وغازية .

### أ- الملوثات الصلبة

هى ما يحمله الهواء من دقائق صلبة لمواد مختلفة تشكل مع الهواء ما يعرف بالغبار وتختلف هذه الملوثـــات فـــى نوعها بإختلاف مصدرها كما تختلف أيضاً فى حجم ذراتها وتأثيرها وتعتمد كمية الغبار فى الهواء الجوى على عدة عوامل منها سرعة الرياح ، الرطوبة ، كمية الغبار السطحى وكثافة مصادر الغبار الطبيعية ويقدر متوسط تركـــيز الغبار بالوزن فى الهواء غير الملوث بحوالى ٢٠ ميكروجرام فى المتر المكعب . [٢]

### ب- الملوثات الغازية والسائلة

تشمل العديد من المركبات التى تختلط بتكوينات الهواء وتختلف هذه الملوثات فى تركيزهـــا ونوعيتـــها وتركيبـــها الكيميائى بإختلاف مصادرها ومن أمثلة هذه المجموعة من الملوثات أول وثانى أكسيد الكربون ، الميثان ، اكاســـيد النيتروجين ، الأمونيا ، اكاسيد ومركبات الكبريت ، المواد الهيدروكربونية ، الأبخرة العضوية وتقدر ملوثات الهواء الغازية بنحو ٩٠% من مجموع الملوثات التى تقذف فى الهواء .[٣]

## قياسات تلوث الهواء بمدينة القاهرة

تم قياس تركيز الأتربة المتساقطة شهرياً لمدة ٣ سنوات فوق ثمانية أحياء داخل مدينة القاهرة والمنطقة الصناعيـــة بشبرا ثم تم تحليل هذه الأتربة لتقدير كمية المواد الذائبة فى الماء وغير القابلة للذوبان وكذلك نسبة الرماد والمـــواد القطرانية والقابلة للاحتراق كما تم تقدير نسبة الكالسيوم والأمونيوم والكلوريدات والكبريتات فـــى الجـــزء القـــابل للذوبان فى الماء ووجد أن كمية الأتربة المتساقطة فوق مدينة القاهرة تفوق كثيراً مثيلاتها فى الدول المختلفة وتزيـــد بأكثر من عشر مرات عن المواصفات القياسية الموضوعة فى الدول المختلفة لحماية المدن من تلك النوعيـــة مـــن الأتربة ، كما أوضحت هذه الدراسة أن منطقة وسط المدينة هى أكثر المناطق تعرضاً لمعدلات ترسيب عالية مـــن الأتربة المتساقطة وفيما يلى القياسات الخاصة بالأتربة العالقة فى هواء مدينة القاهرة والدخان والغازات الملوثة .

### أ- الأتربة العالقة

تم قياس كميات الأتربة العالقة فى هواء مدينة القاهرة وحسبت تركيزات تلك الأتربة بالميكروجرام فى المتر المكعب من الهواء وحللت هذه الأتربة لمعرفة تركيز المواد الذائبة وغير الذائبة فى الماء وتكويناتها الكيميائية واتضح مـــن هذه الدراسة أن أعلى تركيز للأتربة العالقة يوجد فى هواء وسط المدينة كما وجد من دراسة تغير التركـــيز خـــلال

---

(١) حسن أحمد شحاته : التلوث البيئى فيروس العصر ، المشكلة ، أسبابها وطرق مواجهتها ، دار النهضة العربية للطبـــع والنشـــر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٨م ، ص١٠١ -١٠٢ .

(2) Lieth, S.D. Et al: Limestone Characterization To Model Damage From Acidic Precipitation : Effect Of Pore Structure On Mass Transfer Enviromental Science And Technology, London, 1996,P.30.

(3) Wu, Y.L. Et al: Aerosol Science And Technology, New York, 1992,P.28.

الأشهر المختلفة أن أعلى تركيز للأتربة العالقة يكون خلال فصلى الربيع والشتاء كما تؤكد الدراسة أن النشاط البشرى فى وسط المدينة وخاصة المواصلات هو المصدر الرئيسى لتلك التركيزات العالية من الأتربة العالقة فى هواء مدينة القاهرة [١] وعلى سبيل المثال فإنه من خلال قياسات الأتربة العالقة بمنطقة شبرا الخيمة وهى من المناطق ذات الكثافة الصناعية العالية وجد أنها مرتفعة جداً وتحتوى هذه الأتربة على نسب ضئيلة من عناصر سامة Toxic Elements مثل الكادميوم Cadmium والزنك Zinc والنيكل Nickel والرصاص Lead كما أتضح أن تركيز الأتربة العالقة فوق المنطقة الصناعية أعلى من تركيزها فوق المنطقة السكنية [٢] .

## ب- الدخان

وجد أن هواء وسط المدينة يحتوى على أعلى تركيز للدخان ويرجع مصدر الدخان إلى الاحتراق غير التام لعوادم السيارات والعمليات الصناعية كما وجد أن أعلى تركيز للدخان يكون خلال فصل الشتاء وإن كانت النسبة بين متوسط تركيز الدخان خلال فصل الشتاء والصيف لا تزيد عن ١,٥% وهذه النسبة تعتبر ضئيلة مقارنة بمثيلاتها فى الدول الأوربية والتى وجد أنها تتراوح ما بين ٣ إلى ٤% وقد وجد أن التغير اليومى للدخان يتطابق تماماً مع التغير فى حركة السيارات على مدار اليوم مما يشير إلى أن المصدر الأساسى للدخان فى هواء القاهرة هو عادم السيارات.[٣]

## جـ- الغازات :

### (١) أكاسيد النيتروجين

من خلال دراسة تركيزات اكاسيد النيتروجين والعوامل المؤثرة عليها فى هواء مدينة القاهرة وكذلك دراسة احتمالات التفاعلات الفوتوكيميائية المؤدية إلى تكوين الضباب الفوتوكيميائى فى هواء القاهرة وجد أن اكاسيد النيتروجين أعلى بكثير من الحد الأدنى المسموح به [٤] كما وجد أن نسبة تركيز غاز ثانى أكسيد النيتروجين إلى نسبة أول أكسيد النيتروجين تتزايد أثناء فترات النهار عنها بالليل نتيجة تأكسد غاز أول أكسيد النيتروجين عن طريق التفاعلات الفوتوكيميائية وأكاسيد النيتروجين بأنواعها المختلفة ($NO_2$ , $NO$ , $N_2O$) هى أكاسيد حمضية تكون عند اتحادها مع الماء حمضاً قوياً هو حمض النيتريك $HNO_3$ [٥] وتنبعث هذه الأكاسيد إلى الجو إما من مصادر طبيعية وإما بفعل النشاطات البشرية المختلفة ويوضح الجدول رقم (١٦) أهم مصادر انبعاث غازات $NO_x$ التى ترجع الأنشطة البشرية [٦]

---

(١) عمر محمد الصادق ، الصناعة وتلوث البيئة فى مدينة القاهرة ، دراسة تطبيقية على منطقتى شبرا الخيمة وحلوان ، ندوة عن الجغرافيا ومشكلات تلوث البيئة ، الجمعية الجغرافية المصرية ، إبريل ١٩٩٢م ، ص٧٢ .

(٢) عمر محمد الصادق : مرجع سابق ، ١٩٩٢م ، ص٧٣ .

(٣) محمود سامى عبد السلام : دراسة تلوث الهواء فى منطقة حلوان ، القاهرة ، ١٩٦٦م ، ص١٣ .

(4) Warner, P.: Anaylsis Of Air Pallution, Willey, New York, 1970,P.34 .

(٥) عمر محمد الصادق : الصناعة وتلوث البيئة فى مدينة القاهرة ، دراسة تطبيقية على منطقتى شبرا الخيمة وحلوان ، ندوة عن الجغرافيا ومشكلات تلوث البيئية ، الجمعية الجغرافية المصرية ، إبريل ١٩٩٢م، ص٧٤ .

(٦) حسن أحمد شحاته : تلوث الهواء ، القاتل الصامت وكيفية مواجهته ، مكتبة الدار العربية للكتاب ، القاهرة ، ٢٠٠٢م، ص٨٩

جدول رقم (١٦) يوضح أهم مصادر انبعاث غازات $NO_x$ التى ترجع للأنشطة البشرية

| م | المصدر | نسبة غازات $NO_x$ (%) |
|---|---|---|
| ١ | وسائل المواصلات | ٥١,٥ |
| ٢ | احتراق الوقود وتوليد الكهرباء | ٤٤,١ |
| ٣ | العمليات الصناعية المختلفة | ٠,٩ |
| ٤ | الحرائق فى الغابات والمزارع | ١ |
| ٥ | التخلص من النفايات الصلبة | ١,٧ |

(عن حسن أحمد شحاتة ، ٢٠٠٢ م)

وقد وجد أن تركيزات اكاسيد النيتروجين بمدينة القاهرة تصل إلى أكثر من عشرة أضعاف الحد الأقصى المسموح به عالمياً كما وجد أن تركيزات تلك الغازات تصل إلى أكثر من الضعف خلال اشهر الصيف عنها فى الشتاء وذلك بسبب زيادة حركة السيارات وركود الهواء خلال اشهر الصيف بالقاهرة عنه فى الشتاء .

## ٢- غاز أول اكسيد الكربون CO

تم دراسة غاز أول اكسيد الكربون وقد وجد أن تركيزه يزيد عن الحد الأقصى المسموح به حيث يصل إلى أكثر من ٣٥ جزء فى المليون فى شوارع مدينة القاهرة كما وجد أن التغير اليومى فى تركيز ذلك الغاز يعتمد على معدل مرور السيارات وسرعة الرياح كذلك وجد أن تركيز غاز أول أكسيد الكربون ينخفض انخفاضاً حاداً بالارتفاع عن سطح الأرض وبذلك نجد أن المصدر الأساسى لهذا الغاز هو عوادم السيارات .

## ٣- غاز ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$

من خلال دراسة تركيزات غاز $SO_2$ وجد أن تركيزه فى هواء القاهرة يفوق ما وجد فى هواء المدن الأوربية رغم استعمال أوربا للفحم الذى يحتوى على نسبة عالية من الكبريت وذلك يرجع أساساً إلى انبعاث عوادم السيارات الديزل وكذلك الاختلاف فى المناخ وخصوصاً سرعة الرياح ويتفاعل هذا الحمض مع أحجار المآذن الأثرية تكويناً أملاح الجبس ( كبريتات الكالسيوم المائية ) $(CaSO_4 . 2H_2O)$[1] وعند تصاعد غاز $SO_2$ إلى طبقات الجو العليا فإنه يتحد مع أكسجين الهواء فى وجود ضوء الشمس تكويناً أكسيد آخر هو ثالث أكسيد الكبريت $SO_3$ الذى يكون حمض الكبريتيك عند اتحاده مع بخار الماء وقد يسقط على هيئة أمطار حمضيه وذلك طبقاً للتفاعلات الآتية:-

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow SO_3$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

ومن الملوثات الغازية الأخرى غاز الامونيا وكذلك الهيدروكربونات وغاز كبريتيد الهيدروجين $H_2S$ وغيرها . حيث تساهم هذه الغازات فى وجود الرطوبة فى تلف الطبقات السطحية المعرضة لها من المآذن الأثرية .[٢]

---

(١ ) عمر محمد الصادق : مرجع سابق ، ١٩٩٢م ، ص ٧٤-٧٥ .

(٢ ) عمر محمد الصادق : مرجع سابق ، ١٩٩٢م، ص٧٥ .

## تأثير التلوث الجوى على المآذن الأثرية بمدينة القاهرة

فى جو المدن الصناعية مثل مدينة القاهرة تتكون طبقة سوداء على أسطح الأحجار الجيرية للمآذن الأثرية حيث تترسب جزئيات مختلفة التكوينات منها الجبس واكاسيد الحديد والمواد الكربونية وقد توجد نسب ضئيلة من عناصر أخرى مثل الباريوم والنحاس والزنك وهذه التكوينات تكون الطبقة السوداء التى توجد على أسطح المآذن الأثرية ويؤدى تكوين هذه الطبقة التى قد يتراوح سمكها من ٨ ميكرون إلى ١٢ ميكرون وقد تصل إلى بضعه ملليمترات إلى انخفاض نفاذيه أحجار المآذن الأثرية وقدرتها على امتصاص الماء وتؤدى الدورات المتتابعة من الرطوبة ثم الجفاف إلى ذوبان بعض تكوينات الطبقة السوداء ونزحها من الأسطح الحجرية وتتبقى التكوينات غير القابلة للذوبان على الأسطح [١] وتؤدى هذه الطبقة السوداء الداكنة إلى تشوية أسطح المآذن الأثرية بمدينة القاهرة وقد تؤدى إلى تنشيط التفاعلات الكيميائية على الأسطح الحجرية [٢] ، وعند تعرض الأحجار الجيرية للمآذن الأثرية للتلوث الجوى بغاز $SO_2$ تحدث عملية الكبرته Sulphation حيث تتكون على أسطح الأحجار طبقات من معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ وكما ذكر فإن هذه الطبقات تأخذ اللون الأسود فى حالة وجود حبيبات صلبة من الرماد الكربونى فى الهواء Fly-Ash والناتج عن احتراق الوقود البترولى الثقيل Heavy Fuel Oil Co mbustion وهذه الحبيبات ذات نشاط فيزيوكيميائى قوى وتستطيع تكوين جزيئات كيميائية كبريتية خاصة الكبريتات حيث تدمص هذه الحبيبات Adsorp ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ من الجو وتوكسده إلى $SO_3$ وهذا التفاعل يصبح أكثر تركيزاً وشده فى وجود ثانى أكسيد النيتروجين $NO_2$ وغاز الأوزون $O_3$ وكذلك فى حالة وجود رطوبة نسبية عالية [٣]

ومن خلال التجارب المعملية التى أجريت لدراسة تأثير وجود الملوثات الصلبة فى هواء المدن الصناعية مثل مدينة القاهرة والترسيب الجاف لهذه الملوثات الصلبة على أسطح الأحجار وذلك تمهيداً لتفاعلها مع أسطح الأحجار الجيرية لتكوين أملاح الجبس Gypsum فقد وجد أنه فى حالة وجود غاز $SO_2$ بمفرده كملوث فى الهواء الجوى فإن أملاح الجبس تتكون من خلال مرحلتين هما :-

(١) تتكون كبريتات الكالسيوم نصف المائية $CaSo_4.\frac{1}{2}H_2O$ وذلك باتحاد معدن الكالسيت (المكون الرئيسى للأحجار الجيرية $CaCO_3$ ) مع ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ فى وجود الرطوبة الجوية وذلك طبقاً للمعادلة الآتية :-

$$CaCO_3+SO_2+\frac{1}{2}H_2O \rightarrow CaSO_3.\frac{1}{2}H_2O+CO_2$$

Calcium Sulphate Hemihydrate كبريتات الكالسيوم نصف المائية

Intermediate product وذلك كمركب وسطى

---

(1) Thomachot, C. And Jeannette, D. : Petrophysical – Properties Modification Of Strasbourg's Cathedral Sand Stone By Black Crusts, In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.272.

(2) Thomachot, C. And Jeannette, D.: Ibid, 2000, P.272.

(3) Ausset, P. And Delmonte. M.: Early Mechanisms Of Development Of Sulphated Black Crusts On Carbonate Stone, In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Ve: Nice, 2000,P.330 .

(٢) فى وجود الأكسجين والرطوبة تتكون أملاح الجبس طبقاً للمعادلة الآتية :-

$$CaSO_3.\frac{1}{2}H_2O+\frac{1}{2}O_2+\frac{3}{2}H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

أما ميكانيكية التفاعل الأخرى والتى تحدث فى وجود غاز ثانى اكسيد النيتروجين $NO_2$ بالإضافة إلى غاز ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ فيحدث من خلاله تحول مباشر لمعدن الكالسيت إلى أملاح الجبس طبقاً للمعادلة الآتية :-

$$CaCO_3+SO_3+2H_2O \xrightarrow[NO_2]{} CaSO_4.2H_2O+CO_2$$

حيث يتم فى هذا التفاعل تحول ثانى أكسيد الكبريت $SO_2$ إلى ثالث أكسيد الكبريت $SO_3$ وذلك فى وجود ثانى أكسيد النيتروجين $NO_2$ [١] ، ومن أسباب التلف والتدهور لأحجار المآذن الأثرية هو قدرة الملوثات الجوية على الترسيب على الأسطح الحجرية وتترسب هذه الملوثات الجوية الغازية بشكل خاص فى الأماكن الغائرة من الأسطح الحجرية مثل أعتاب النوافذ والأبواب وكذلك فيما بين الكرانيش والكوابيل والتفاصيل المعمارية التى توجد بها تجاويف وأجزاء غائرة وتأثير الترسيب الجاف للملوثات الغازية فى هذه الأماكن يكون بطيئا ومستمراً ويؤدى فى النهاية إلى تآكل أجزاء كبيرة منها وتحدث عملية الترسيب الجاف للملوثات الجوية على أسطح المآذن الأثرية فى ثلاثة مراحل هى :-

١- تنتقل الملوثات الجوية من طبقات الجو العليا إلى الطبقات السفلى بفعل كثافتها وهى الطبقات القريبة والمحيطة بالأجسام المختلفة والتى تكون لزجة أكثر من الطبقات العليا للهواء ويطلق على هذه العملية الثبات الديناميكى للهواء Aerodynanic Resistance ($r_a$) وتتوقف على سرعة الرياح ومدى حركة الهواء .

٢- المرحلة الثانية تعرف بثبات الطبقة الفاصلة بين الأسطح الحجرية والملوثات الجوية وتعرف بمصطلح ثبات الطبقة الفاصلة Boundary L ayer Resistance ($r_b$) وتؤثر خواص هذه الطبقة من درجة حرارة ومحتوى رطوبة وحركة هواء فى معدل ترسيب هذه الملوثات الجوية على الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية .

٣- المرحلة الثالثة هى طبيعة التفاعل والارتباط بين أسطح الأحجار (أسطح الترسيب) والملوثات الجوية من حيث كونه تفاعل فيزيائى وكيميائى أو كيميائى فقط وهو ما يعرف بمعدل ثبات السطح Surface Uptake Resistance ($r_c$) ويتوقف هذا المعدل على عدة عوامل هى الطبيعة الكيميائية للسطح Surface Chemistry وبلل السطح Wetness ومدى خشونته Roughness ومساميته Porosity وكل مرحلة من المراحل الثلاثة السابقة لها معدل خاص بها وكذلك تحدث بسرعات مختلفة تعتمد على خواص نظام الترسيب بشكل عام [٢] وتربط بين هذه العوامل الثلاثة علاقة رياضية نستطيع من خلالها حساب معدل سرعة الترسيب للملوثات الجوية على الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية وهى كالتالى :-

$$(vd) = (r_a+r_b+r_c)^{-1}$$

والعاملان الأول والثانى $r_a$ , $r_b$ يمكن حسابهما عن طريق القياسات المختلفة لسرعة الرياح ودرجة الحرارة ومحتوى الرطوبة فى الجو أما العامل الثالث فهو ($r_c$) عامل نسبى غير محدد بدقة وهو عامل هام وترجع أهميته إلى أنه يحدد معدل الترسيب الجاف للملوثات الجوية المختلفة .

---

(1) Moroni, B. And Poli, F.: Corrosion Of Limestone In Humid Air Containing Sulphur And Nitrogen Dioxides : Amodel Study In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vienice, 2000, PP.370-371 .

(2) Elizabith, A.B.L: Characterization Of Surface Morphology Of Carbonate Stone And Its Effect On Surface Uptake Of So2 In:9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,Pp.303-304.

وعلى سبيل المثال فإن معدل ترسيب غاز $SO_2$ على الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية قد يأخذ فيما مختلفة تعتمد على العوامل البيئية وخواص الأسطح الحجرية ذاتها وهذه العوامل هي:-

أ- تركيز غاز $SO_2$ في الهواء $SO_2$ Concentration

ب- خواص الطبقة الهوائية الفاصلة Boundary Layer Characteristics سواء من حيث درجة الحرارة Temperature أو محتوى الرطوبة Moisture Content أو حركة الهواء Turbulence

جـ - درجة الحرارة والرطوبة النسبية لسطح الترسيب (أسطح المآذن الحجرية) .

د- مدى وجود ووفره العوامل الحفازه سواء في الوسط المحيط أو على الأسطح الحجرية (أسطح الترسيب) أو في كليهما .

هـ - طبيعة الشكل الخارجي للسطح Surface Morphology مثل درجة الخشونة والمسامية ومساحة السطح المعرض Roughness, Porosity And Effective Surface Area [1]

وجدير بالذكر أن الطبقة السوداء المترسبة على أسطح المآذن الحجرية تحتوى على جزئيات كربونية تساهم في إعطاء اللون الأسود لهذه الطبقة التي تتكون طبقاً لنظام معقد حيث تحتوى على كربون عنصرى Elemental Carbon ومركبات عضوية وكبريت وكميات ضئيلة من عناصر نادرة تقوم بدور هام كعوامل حفازه تساعد في حدوث عملية الكبرته وتكوين معدن الجبس وتنبعث الجزيئات الكربونية في الجو بفعل احتراق الفحم والوقود البترولي ومركبات الكربون الموجودة في الطبقة السوداء تأتي من أربعة مصادر هي:-

(١) الكربونات الموجودة في معدن الكالسيت وربما الدولوميت وهي التكوينات الأساسية للأحجار الجيرية .

(٢) ترسيب الجزئيات الصلبة المعلقة في الجو ومنها الكربون العنصرى (C) والمركبات العضوية الهيدروكربونية الناتجة من احتراق الوقود في عوادم السيارات وغيرها .

(٣) الكربون ذو المصدر الميكروبيولوجي التي تنتجة الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتريا والفطريات والأشنة التي تنتج أحماضاً عضوية مثل حمض الأوكساليك Oxalic Acid والذى يتحد مع تكوينات الأحجار الجيرية تكويناً أو كسالات الكالسيوم Calcium Oxalate

(٤) عمليات الترميم الخاطئة القديمة للأسطح الحجرية والتي قد يتخلف عنها مركبات كربونية .

وكمية الكربون الكلية ($C_T$) الموجودة في الطبقة السوداء [2] التي تتكون على أسطح المآذن تمثل المجموع الكلي لكميات الكربون الموجودة حيث

$$C_T = C_E + C_O + C_C$$

حيث :-

$C_C$ هي الكربون المتمثل في الكربونات الموجودة ضمن تركيب الأحجار .

$C_O$ الكربون ذو الأصل العضوى

$C_E$ الكربون العنصرى الناتج عن عمليات التلوث الجوى .

---

(1) Elizabith, A.B. Op. Cit.,2000,P.304.

(2) Cristina, S.Et al: Analytic Methodologies For Carbon Compound Identification : Leaning Tower And Baptistery Of Pisa , In :9th International Congress On Deteriaoratioin And Conservation Of Stone, Venice, 2000,Pp.384-393 .

ومما ذكر نجد أن التلوث الجوى يؤدى إلى تدهور وتحلل وتفكك وتآكل الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية وتكون الأملاح الضارة وأهمها أملاح الجبس $CaSO_4 . 2H_2O$ .(١)

## ثانياً : التربة وتداعياتها وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية

تم تأسيس المآذن الأثرية على تربة لها خواص فيزيائية وكيميائية محددة ولذلك تعتبر التربة عاملاً مؤثراً على المآذن الأثرية كما أن الإجهادات الناشئة من المآذن على التربة الحاملة لها تتحكم فى قيم انفعال التربة أو تصرفها وعليه فإن محصلة تأثير المآذن على التربة وتصرف وسلوك التربة من الجهة الإنشائية يؤدى إلى وجود حالة إتزان للمآذن الأثرية من عدمه وعلى سبيل المثال فإنه فى حالة وجود المآذن الأثرية مشيدة على تربة تكوينة من طبقات الطين القابل للانتفاش فإن حالة عدم الاتزان تكون أكيدة فى حالة تسرب المياه إلى هذه الطبقات من الطين القابل للانتفاش (٢)

### تعريف التربة

التربة Soil ترجع تسميتها إلى كلمة لاتينية قديمه هى Solum والتربة هندسياً تعنى فتات الصخور الناتج من عوامل التعرية والمواد العضوية الناتجة من تحلل النباتات والحيوانات والرطوبة وما تحتويه من محاليل ومعلقات عضوية ومعدنية وكذلك الهواء الموجود داخل التربة ويشمل تعريف التربة سمك الطبقة المفتتة من قشرة الكرة الأرضية وهى بذلك خليط معقد من مادة صلبة تحتوى على سوائل وغازات وتكوينات عضوية(٣)

### منشأ التربة

التربة تنشأ من التفتت الطبيعى للصخور وتنتقل بواسطة الأنهار والأمطار والرياح والثلوج والتربة تتكون خلال تغيرات فيزيائية وكيميائية وعضوية للصخور (٤) وتنقسم من حيث النشأة إلى نوعين هما :-

### (١) تربة متبقية Residual Soil

تتكون من تفتت الصخور بفعل الحرارة والرطوبة وينتج عن ذلك تكون حبيبات مفككة تعلو الصخور الأصلية (نارية ورسوبية )

### (٢) تربة منقولة Transported Soil

تكون غالبية التربة وهى تربة منقولة إما بالثلوج أو المياه أو الفيضانات (٥)

---

( 1) Cristina, S. Et al: Op. Cit., 2000, Pp.384-393 .

(٢ ) ممدوح على صبرى : إتزان الأثر والتربة ، ندورة الرؤية العلمية للحفاظ على الآثار كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٠م، ص١

(٣ ) السيد عبد الفتاح القصبى ، ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص١١.

(٤ ) عمرو رضوان : المبادئ العلمية واساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٤م ، ص٦ .

(٥) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م، ص١١-١٢ .

## تصنيف التربة Classification Of Soil

تصنف التربة إلى قسمين رئيسيين بالنسبة لحجم حبيباتها ، فإذا ما كانت خشنه سميت بالتربة ذات الحبيبات الخشنة Coarse Grained Soil أو التربة المفككة عديمة التماسك Cohesionless Soil وتتراوح أحجام حبيبات هذا النوع من الجلاميد إلى الزلط إلى الرمل Boulder to Gravel to Sand ، أما القسم الثانى فيسمى بالتربة الناعمة Fine Grained Soil أو التربة المتماسكة Cohesive Soil وتكون حبيباتها ناعمة وعادة متلاصقة وتتحول إلى تربة لينه بزيادة محتواها المائى ويدخل فى نطاق هذا القسم الأنواع المختلفة من الطمى والطين SiltAnd Clay (١)

## التدرج الحبيبى للتربة (نسيج التربة) Soil Texture

يعرف التدرج الحبيبى للتربة بأنه نسب أوزان الحجوم المختلفة للحبيبات فى وزن معلوم من التربة وللتدرج الحبيبى تأثيراً كبيراً فى الكثير من خواص التربة مثل الدمك والكثافة والمسامية والنفاذية وبالنسبة للتربة الناعمة يؤثر كذلك على اللدونة والانتفاخ والانكماش .

## قوام التربة Soil Consistency

توجد التربة الناعمة فى إحدى ثلاث حالات تسمى بحالات القوام للتربة وهى :- الحالة السائلة Liquid State والحالة اللدنة Plastic State والحالة الصلبة Solid State ووجود التربة الناعمة فى إحدى هذه الحالات يعتمد على طبيعة الحبيبات والمحتوى المائى للتربة .

## حدود أتربرج AtterbergLimits

تعرف المحتويات المائية التى تنتقل عندها التربة من حالة قوام إلى حالة أخرى بحدود أتربرج (٢) لقوام التربة وتتكون حدود اتربرج من المحتويات المائية التالية :

### (١) حد السيولة Liquid Limit (LL)

يعرف بأنه المحتوى المائى الذى عنده تنتقل التربة من حالة السيولة إلى حالة اللدونة ويعرف أيضاً بأنه المحتوى المائى الذى تكون عنده التربة عملياً سائل ولكنها تبدى مقاومة ضئيلة للقص .

### (٢) حد اللدونه (PL).

يعرف بأنه المحتوى المائى الذى عنده تنتقل التربة من حالة اللدونة إلى الحالة شبة الصلبة Semi Solid State أو يعرف بأنه محتوى مائى تكون عنده التربة لدنه .

---

(١) أسامة مصطفى الشافعى : ميكانيكا التربة ، أساسيات وخواص التربة ، الجزء الأول ، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، ١٩٨٤م ، ص١٨ .

(٢) أسامة مصطفى الشافعى : المرجع السابق ، ١٩٨٤ ، ص ٥٦ .

### (٣) حد الانكماش Shrinkage Limit (SL)

يعرف بأنه المحتوى المائى الذى عنده تنتقل التربة من الحالة شبه الصلبة إلى الحالة الصلبة أو يعرف بأنه المحتوى المائى الذى يكفى لجعل أقل فراغات للتربة مشبعة بالماء [1] (ويقصد هنا بأقل فراغات تلك الناتجة عند الانكماش)[2]

## التربة ذات المشاكل Difficult Soil

التربة ذات المشاكل هى التربة التى تسبب مشاكل هندسية للمنشآت المقامة فوقها نتيجة لظروف تكوينـــها وتحـدث بعض التغيرات فى هذه التربة تؤثر على المآذن الأثرية سواء المدمجة ضمن التكوين المعمارى للمبنى الأثـــرى أو المآذن الأثرية المنفصلة أو المستقلة عن المبانى الأثرية مثل الانتفاخ والهبوط ومن هذه الأنواع للتربة ذات المشـاكل التربة القابلة للانهيار والتربة القابلة للانتفاخ والتربة الطينية اللينة وتربة الردم .

### ١) التربة القابلة للانهيار Collapsing Soil

يتعرض التكوين الداخلى لهذه التربة للانهيار إذا ما تعرضت لكمية رطوبة مرتفعة كما تعطى قيمة هبوط مرتفعـــة وتتكون هذه التربة فى معظمها من الرمل والطمى مع نسبة من الطين مع وجود بعض الأنواع المختلفة من المـــواد اللاحمة ومما يساهم فى انهيار هذه التربة احتواءها على نسبة فراغات كبيرة نسبياً ويتأثر معدل الانهيار لهذه التربة بمحتوى الطين فى التربة والتركيب المعدنى للمواد التكوينة للتربة وشكل حبيبات التربة والتوزيع الحجمـــى لـــهذه الحبيبات ونسبة الرطوبة الطبيعية ونسبة الفراغات فى التربة وتركيز الأيونات والمواد اللاحمة التى قد تشمل الجبس وكربونات الكالسيوم والأملاح وأكاسيد الحديد والمواد الطينية [3].

### ٢) التربة القابلة للانتفاش Expansive Or Swelling Soil

إذا تعرض حجم التربة للانكماش أو التمدد عند حدوث تغير فى محتوى الرطوبة بها فإنها تسمى بالتربة الانتفاخيـــة والتربة التى تحدث بها هذه الظاهرة تكون تربة طينية تحتوى على معدن المنتمور يللونـــايت Montmorillonite حيث يتمدد عند وجوده بحالة نقية Pure ليتضاعف حجم هذه التربة إلى خمس عشرة مرة قدر حجمها وهى جافـــة ولكن هذه التربة فى الطبيعة عادة تكون مختلطة بأنواع أخرى من الطين لها صفات أقل انتفاخية ولذلـــك ينـــدر أن يوجد فى الطبيعة تربة يتمدد حجمها لأكثر من مرة ونصف قدر حجمها وهى جافة وهذا يؤدى إلى خطورة شـــديدة للمآذن الأثرية فى حالة تشييدها على مثل هذا النوع من التربة خاصة فى حالة توافر العوامل الثلاثة الآتية :-

أ- أن تحتوى التربة على تكوينات معدنية ذات الخواص الانتفاخية العالية .

ب- أن تتعرض هذه التربة لتغيرات كبيرة فى محتوى الرطوبة .

جـ - أن تكون طبقة التربة المحتوية على مواد انتفاخية بسمك كاف لكى تحدث حركة تكفى لإحداث الضرر علـــى سطح الطبقة وعامة لو زادت نسبة المتمدد الحجمى لتربة الأساسات عن ٣% فإنها تؤدى إلى إحداث أضراراً بنسب متفاوتة للمبانى الأثرية والمشاكل التى تسببها التربة الانتفاخية تتوقف لحد كبير على اختلاف الضغوط تحت المبنـــى من مكان لآخر وهذا الاختلاف فى الضغوط قد يحدث بسبب التوزيع غير المتساوى لمحتوى الرطوبة فـــى التربـــة

---

(١) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٥٨ .

(٢) أسامة مصطفى الشافعى : مرجع سابق ، ١٩٨٤ م، ص ٥٧ .

(٣) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٦٦٤-٦٦٥ .

الحاملة للأساسات [١] وتوجد التربة القابلة للانتفاخ فى مصر فى عديد من المناطق داخل المدن القديمة والجديدة وتتعرض الأساسات المنشأة على هذا النوع من التربة لقوة رفع رأسى كبيرة نتيجة انتفاش التربة عند تعرضها لزيادة محتواها المائى .[٢]

### ٣) التربة الطينية اللينة Soft Clay Soil

يرجع أصل هذه التربة إلى البيئات الترسيبية للدلتا والنهر أو المياه الضلحة أو البحرية وتوجد ترسيبات عميقة من التربة الطينية اللينة عند مصبات النيل بالدلتا والتربة الطينية اللينة هى التربة عالية الانضغاط ومقاومتها للقص منخفضة ولا تتعدى ٠,٥كجم / سم٢ وهى تسبب هبوطاً للمآذن الأثرية المقامة عليها [٣] وحبيبات هذه التربة تتميز بخاصية الزحف .[٤]

### ٤) تربة الردم Fills

الردم هو خليط من القمامة والأنقاض والتربة المفككة ويتنوع الردم حسب مواد تكوينه وعمره ومن أنواع الردم ردم الأنقاض Rubbish Fi ll كما توجد أنواع من الردم تحتوى على تربة طبيعية مثل ردم الطين Clay Fill أو ردم الزلط Gravel Fill أو ردم الرمل Sand Fill وعند التعامل مع تربة الردم تواجهنا مشاكل عديدة من أهمها الهبوط وقدرة تحمل تربة الردم ويجب عند التعامل مع هذه التربة دراسة عمق الردم وتغيراته وطبيعة مادة الردم وعمر الردم وطريقة تكوين الردم وعمق الطبقات الطبيعية تحت الردم وخواص وطبيعة الطبقات الموجودة [٥] تحت الردم و من أهم عيوب تربة الردم عدم تجانس أجزائها واختلاف تكويناتها مما ينتج عنه عدم التنبؤ الصحيح بسلوك هذه التربة الواقعة أسفل المآذن الأثرية [٦]

## مقاومة القص للتربة

يعرف انهيار التربة بالقص بأنه انزلاق لكتلة محدودة من التربة على جزء ثابت من الأرض وعند وجود مبنى يرتكز على التربة بأحمال عالية جداً تصل قرب قدرة التحمل القصوى للتربة ، وبزيادة هذه الأحمال بقيمة صغيرة نتيجة دفع الرياح أو هزة أرضية يهبط المبنى قليلاً فى التربة ويصاحب ذلك حركة جانبية دورانية للأساس وقد يستمر الدوران فيحدث الانهيار للمبنى ويسمى ذلك بانهيار التربة بالقص وخلاصة ذلك أن التربة لها مقاومة للقص وهذه المقاومة بالطبع لها حد أقصى ويجب ألا يصل الاجهاد على التربة إلى الحد الذى يتغلب على مقاومة القص للتربة بل يجب أن يكون أقل منها بمعامل أمان كاف (٢ على الأقل) يعرف كالآتى :

---

(١) مصطفى كمال عاشور / مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات ، مجلة المهندسين العدد رقم (٥٣٧)، ديسمبر ٢٠٠٠م ، ص ١٦.

(٢) عمرو رضوان : المبادئ العلمية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٤م ، ص١١٢-١١٣ .

(٣) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٦٨٧ .

(٤) خليل إبراهيم واكد : أسباب انهيارات المبانى ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٣م، ص٦٦.

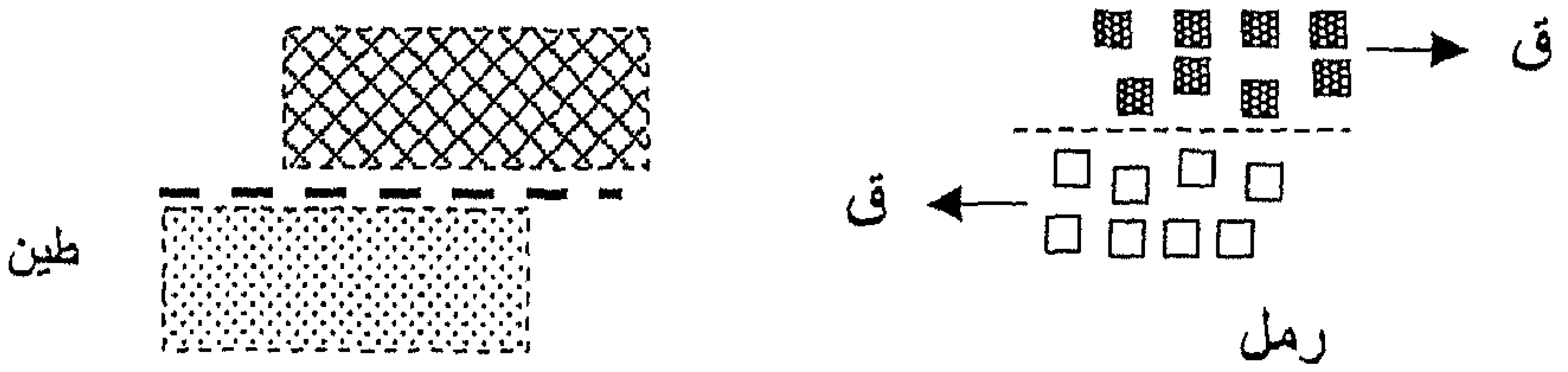
(٥) محمد عبد الهادى وآخرون : التربة مصدر من مصادر تلف المنشآت الأثرية بمدينة القاهرة مجلة كلية الآثار ، العدد السابع ، ١٩٩٧م ، ص٤٣٠-٤٣١ .

(٦) شريف على أبو المجد : أساليب المعاينات وأسباب الانهيارات ، دار النشر للجامعات المصرية ، مكتبة الوفاء ، القاهرة ، ١٩٩٣م ، ص٢٢٥ .

معامل الأمان = مقاومة التربة القصوى للانهيار بالقص / الإجهاد الذى تتعرض التربة له مسببا للقص

وتستمد التربة مقاومتها للقص من خاصيتين أولهما مقاومة الاحتكاك وتداخل الحبيبات مع بعضها البعض وثانيهما مقاومة التماسك .

وفى التربة الرملية لا يمكن أن يتحرك الجزء العلوى منزلقاً على الجزء السفلى




إلا بقوة تستطيع أن تتغلب على الاحتكاكات عند نقط الارتكاز للحبيبات بعضها على بعض وكذلك على التداخل بين الحبيبات ، وفى التربة الطينية حيث تلتصق حبيبات الطين القشرية المتناهية فى الصغر بعضها ببعض بمساعدة الرطوبة فإن انزلاق الجزء العلوى على السفلي لا يتم إلا بقوة يمكنها أن تتغلب على خاصية التماسك بين حبيبات الطين ، و فى حالة التربة الرملية تزداد مقاومة الاحتكاك مع زيادة الجهد العمودى على سطح الانزلاق . لكن فى حالة التربة الطينية فإن قوة التماسك لا تعتمد على الجهد العمودى على سطح الانزلاق فهى صفة تعتمد على التجاذب والتلاصق بين الحبيبات الذى يعتمد على التركيب البللورى للحبيبات وكبر مساحتها السطحية بالنسبة لسمكها وعلى التركيب الكيميائي للمياه . ويعبر عن مقاومة التربة للقص بالمعادلة الآتية [١]

$$\tau + C = \sigma \tan \phi$$

حيث $\tau$ = مقاومة الاحتكاك

$c$ = التماسك

$\sigma$ = الجهد العمودى على سطح الانزلاق

$\tan \phi$ = ظل زاوية الاحتكاك

## إنضغاطية وتشكل التربة

## Compressibility And Soil Deformation

تنقل الأحمال من المنشآت إلى التربة عن طريق السطح الملامس للأساسات contact surface وينتج عن تلك الأحمال المنقوله على هيئة اجهادات إعادة ترتيب لحبيبات التربة بحيث تتقارب الحبيبات بعضها إلى بعض أو تنزاح من مكانها ( غالبا إلى الأجناب ثم إلى اعلى بعيدا عن الأساس ) وتكون النتيجة تحرك الأساس وما يحمل من منشآت إلى أسفل أو بتعبير آخر يغوص المنشأ فى التربة نتيجة حركة الحبيبات إلى أسفل ، ويمثل هبوط المنشأ داخل التربة أحد صور تشكل التربة Soil Deformation وهو تشكل انضغاطى Compressible Deformation ولا يقتصر تشكل التربة على الانضغاط أى النقص فى الحجم ولكن هناك التشكل الناتج عن الزيادة فى الحجم أى زيادة الفراغات وأحد الأسباب لزيادة الفراغات نقص الأحمال المؤثرة على التربة مما يسبب ارتداد مرن للبناء الحبيبي ويسبب انتفاخ للتربة بدخول المياه داخل الفراغات Rebound

(١) عمرو رضوان : مرجع سابق ، ١٩٩٤ ، ص ٧٩-٨٠

## تأثير الهبوط على المآذن الأثرية

## Effect of Settlement on the Archaeological Minarets

يمثل الهبوط Settlement أهم تطبيق لتشكل التربة وذلك لتأثيره على المنشآت وقد يكون الهبوط منتظما Uniform, Tolerable Settlement ولا يؤثر ذلك تأثيرا كبيرا على المنشأ أما الهبوط غير المنتظم Non Uniform Or Deferential Settlement فغالبا ما يكون مدمرا وهو بذلك غير مسموح به حيث يسبب في المنشآت زيادة فى الاجهادات أو أحيانا تسبب اجهادات عكسية و ينتج عن ذلك تصدع وشروخ وأحيانا انهيارات وقد يسبب ذلك الهبوط غير المنتظم للمنشآت المرتفعة ( مثل المآذن ) ميلا ظاهرا نتيجة دوران الأساس.

وأيضا يمثل انتفاخ التربة تطبيقا هاما لتشكل التربة حيث يسبب ذلك قوى مدمرة للأرضيات وأساسات المنشآت الخفيفة ويكون فيها الانتفاخ Swelling أو ارتفاع سطح الأرض Heave غالبا بسبب تأثير المياه.(١)

## أسباب الهبوط Causes of Settlement

هناك أسباب متعددة للهبوط ونذكرها فيما يلي :

١- الأحمال الساكنة من أوزان المنشآت والأساسات تسبب زيادة فى الضغط المؤثر على حبيبات التربة فيعاد ترتيبها بما يقلل من حجم الفراغات بينها ويحدث الانضغاط للتربة ويتبعها المنشأ بالهبوط وتشمل تلك الأحمال ، الأحمال الميتة والحية غير المتحركة كذلك أوزان الأتربة والردم .

٢- الأحمال الحية المتحركة Dyna mic Loads والاهتزازات Vibration التى غالبا ما يكون تأثيرها أكبر على التربة غير المتماسكة فتحدث دمكا للتربة ونقصان فى الحجم مسببا هبوط المنشآت المؤسسة عليه وتشمل تلك الأحمال تاثير الزلازل والانفجارات وتأثير دق الأساسات الخازوقية عند بناء منشأ جديد.

٣- تذبذب سطح المياه الجوفية سواء أكان ذلك طبيعيا كتغير منسوب المياه فى الأنهار وتغير منسوب المياه نتيجة مواسم الأمطار والجفاف أو سحب المياه من الآبار مما ينقص منسوب المياه الحر فى باطن الأرض ويتبع ذلك زيادة فى الضغط المؤثر Effective Pressure. مما يسبب الانضغاط .

٤- هبوط سطح الأرض نتيجة أوزانها Subsidance وذلك لوجود فراغات فى باطن الأرض مثل الكهوف والمغارات ويحدث بسبب ذلك هبوط فجائي في الغالب أو قد يحدث تشكل مرن نتيجة لوزن التربة وتكيفها مع ما يستجد من فراغات داخلها . (٢)

والأسباب السابقة قد تسبب الهبوط غير المنتظم أو الهبوط المنتظم وهناك أسباب أخرى تسبب الهبوط غير المنتظم وهى :

أ- عدم تجانس التربة جيولوجيا وطبيعيا كوجود جيوب من التربة اللينة Soft Clay أو جيوب من التربة العضوية Organic Matter أو وجود طبقات ذات سمك غير منتظم Wedge – Like Soil Strata

ب – توزيع اجهادات غير منتظمة نتيجة تحميل غير منتظم على الأساسات ( مثل وجود عنصر المئذنة فى المباني الأثرية ) أو عدم تجانس الأساسات كأن يكون جزء منها عميق والآخر سطحى أو تفاوت كبير فى حجم الأساسات فى نفس المنشأ .

---

(١) أسامة مصطفى الشافعى : مرجع سابق ، ١٩٨٤ ، ص ١٠٧ –١٠٨

(٢)أسامة مصطفى الشافعى : ميكانيكا التربة ، الجزء الأول ، أساسيات وخواص التربة ، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، ١٩٨٤ ، ص ١٠٨

جـ - وجود المنشأ الأثري بجوار منشآت ضخمة مما يسبب زيادة إجهاد Overstressing الأجزاء المجاورة لتلك المنشآت الضخمة .

## طبيعة هبوط المنشأ مع الزمن

يختلف هبوط المنشآت المؤسسة على تربة متماسكة عن الهبوط للمنشآت التى تم تأسيسها على تربة غير متماسكة حيث يحدث معظم الهبوط أثناء وبعد الانتهاء من التشييد مباشرة للمنشآت التى تم تأسيسها على تربة غير متماسكة ويأخذ الهبوط فترة زمنية طويلة لكى يتم فى حالة التأسيس على تربة ناعمة مشبعة وأحيانا تطول تلك الفترة الزمنية وقد تصل إلى عشرات السنين قبل تمام الهبوط .

## أسباب عدم اتزان المآذن الأثرية

يمكن تحديد أسباب عدم اتزان المباني الأثرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية فى الآتى :

١-زيادة محتوى الرطوبة فى التربة الجافة والذى يؤدى إلى حدوث انتفاش لطبقات الطين وزيادة انفعال الطبقات الرملية خاصة التى لها خاصية الانهيار الهيكلي .

٢-اختلاف قيم الاجهاد على المآذن الأثرية بفعل إقامة منشأ جديد مجاور لها أو حركة أرضية أو ذبذبات عالية ومستمرة مثل الاهتزازات الناتجة عن حركة النقل والمواصلات وسقوط أو انهيار دعامة من الأثر .

٣- انخفاض منسوب المياه الجوفية بسرعة قد يؤدى إلى الانهيار طبقا لمعدل التخفيض وحجمه واستمرار هذا الخفض للمياه يؤدى إلى انفعال إضافى بالتربة وفى حالة عدم انتظام هذا الخفض للمياه يؤدى إلى وجود انفعال غير منتظم أسفل الأثر .

٤- اختلاف البيئة المحيطة بالأثر التى قد تؤدى إلى زيادة أو نقصان أى مركب كيميائى أو عضوى قد يغير من تصرف التربة أو تغير درجة الحرارة وقيمها ودرجة تباينها وكذلك تغيير نسبة الرطوبة والغازات التكوينة للمنطقة المحيطة بالأثر .(١)

## ثالثا : الأحمال وتأثيرها على تلف المآذن الأثرية

تتعرض المآذن الأثرية للأحمال وتشمل نوعين من الأحمال هما الأحمال الرأسية وتضم الأحمال الدائمة (الميتة ) والأحمال الحيةوالنوع الثانى هو الأحمال الأفقية وتشمل أحمال الرياح وأحمال الزلازل وفيما يلي تعريف بهذه الأحمال .

### (ا) الأحمال الرأسية

### أ- الأحمال الدائمة (الميتة )

هى مجموع الأحمال الثابتة والمستديمة سواء الأثقال الذاتية للعنصر أو الأثقال الثابتة المحمولة بواسطة ذلك العنصر الحامل ويتدخل ضمن هذا التعريف وزن الأرضيات والحوائط الحاملة والتركيبات .

---

(١) ممدوح على صبري : اتزان الأثر والتربة ، ندوة جامعة القاهرة الأولى ، الرؤية العلمية للحفاظ على الآثار ، كلية الآثار، جامعة القاهرة ، ١٩٩٠ م

### ب- الأحمال الحية

هى الأحمال المتغيرة والمتحركة التى يتعرض لها أى جزء من المنشأ بما فى ذلك الأحمال الموزعة والمركزة وأحمال الصدم والاهتزازات والقصور الذاتى وهى تشمل أحمال وأوزان الأشخاص مستعملى المنشأ. (١)

### (٢) الاحمال الافقية

### أ- أحمال الرياح

هى الأحمال الناتجة عن تعرض المنشأ للقوى الناتجة عن هبوب الرياح والتى يمكن أن تكون على شكل ضغط أو سحب .

### ب- أحمال الزلازل

هى الأحمال التى يتعرض لها المنشأ عند حدوث هزات الزلازل وهى من أكثر أنواع الأحمال تأثيراً على المآذن نظراً لطبيعتها التى تتميز بارتفاعاتها الكبيرة و أقطارها الصغيرة بالنسبة لارتفاعها حيث من الممكن أن تتعرض لتلف بالغ نتيجة الحركة الأرضية للتربة الحاملة للمآذن الأثرية نتيجة الحركة الناشئة عن الزلازل.(٢)

ويتم حساب هذه الأحمال سواء الرأسية أو الأفقية من خلال معادلات وعلاقات رياضية ويجب ألا تتعدى الإجهادات التى تتعرض لها المآذن الأثرية بمواد بناءها المختلفة هذه الأحمال والتى يتم حسابها بدقة وذلك للتأكد من أنها آمنة ولن تتعرض لخطر السقوط والانهيار كما يتم الاستفادة من حساب هذه الأحمال خلال الدراسات والتحليل الانشائى الذى يتم إجرائه لحساب هذه الأحمال وتأثيرها على المآذن الأثرية بواسطة الحاسب الآلى من خلال نماذج رياضية Mathematical Mod els يتم عملها بواسطة طرق خاصة منها طريقة العناصر المحددة Finite Element Method

## رابعاً : الكوارث الطبيعية Natural Disasters

من أهم الكوارث الطبيعية التى تؤثر على المبانى الأثرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الزلازل والسيول .

## ١ - تأثير الزلال على المآذن الأثرية

## Effect of The Earthquakes on The Archaeological Minarets

ترتبط الأضرار الناشئة عن الزلازل بمقدار الطاقة المتحررة عنها والمنطلقة فى شكل موجات اهتزازية وتختلف الآثار الناتجة باختلاف شدة الزلزال وعمق البؤرة الزلزالية وطبيعة المنطقة وتكوينها الجيولوجى والطبوغرافى الذى يمكن أن يؤدى إلى تضخيم اهتزاز التربة إذا كانت طبيعتها رملية مثلاً أو إلى اندثار الاهتزازات إذا واجهت الزلازل مناطق صخرية كذلك تؤثر أشكال المآذن الأثرية وخواصها الإنشائية على مقدار الضرر الواقع عليها من جراء الأحمال الزلزالية .(٣)

---

(١) الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى ، ١٩٩٣م، ص١٢ .

(٢) الكود المصرى لحساب الأحمال والقوى ، ١٩٩٣م ، ص ١٢-١٣ .

(٣ ) عاطف الشبراوى : دراسة اتزان المبانى القديمة ، دورة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٩ .

## موقع مصر بالنسبة لأحزمة الزلازل

لا تقع مصر ضمن أى من أحزمة الزلازل بالعالم واقرب حزام للزلازل لمصر هو محور الأخطار الزلزالية القصوى الذى يمر بجزيرة قبرص وشمال البحر الأبيض المتوسط ويبعد عن مصر حوالى ٧٠٠ كم إلى الجنوب من هذا المحور ، وتتعرض مصر للزلازل التى تمر بخليج العقبة وفى منتصف البحر الأحمر ولكن قوة هذه الزلازل التى تقع فى هذه المواقع غير مدمره أما داخل مصر فإن الفوالق يمكنها أن تتحرك إذا ما وجدت السبيل إلى ذلك وخصوصا إذا كان ذلك بفعل الإنسان مثلما حدث محليا فى أسوان عام ١٩٨١ م عندما تحرك فالق كلابشة محدثا زلزالا وكان لذلك علاقة ببحيرة ناصر [١] وتعتبر أكثر المواقع عرضة لنشاط زلزالى هى الدلتا وساحل البحر الأبيض المتوسط ومدخل خليج السويس عند التقاءه بالبحر الأحمر ومنطقة أسوان .[٢]

## قوة الزلزال Magnitude

هى تعبير رقمى لوغاريتمى يعبر عن مقدار الطاقة التى تنبعث عند بؤرة الزلزال على هيئة موجات زلزالية وتحسب هذه القوة بمقياس أقصى سعة لموجات معينة من تسجيلات الزلازل فى المحطات المختلفة ولا تتغير قيمة القوة المحسوبة لزلزال معين من محطات مختلفة فى بعدها عن مركزه إلا بمقدار لا يتعدى ٠,٢ درجة (وذلك إذا تم استعمال نفس نوع الموجات المسجلة فى المحطات المختلفة )

## شدة الزلزال Intensity

هى تعبير رقمى وصفى عن تأثير الزلزال على الانسان ومنشآته والتغيرات التى تحدث فى سطح الأرض نتيجة له ولا تقدر الشدة الزلزالية باستعمال تسجيلات المحطات حيث أنها قيمة وصفية وتقدر اعتمادا على توصيف رقمى من خلال المشاهدات فى الأماكن المتأثرة بالزلزال وتختلف شدة الزلزال الواحد باختلاف المكان الذى تقدر فيه بعكس قوة الزلزال حيث لا تختلف باختلاف المكان أى أن للزلزال الواحد قيم مختلفة لشدته فى الأماكن المختلفة[٣] .

## العناصر التى تعتمد عليها شدة الزلازل

تعتمد قيمة شدة الزلزال الواحد فى الأماكن المختلفة على عدة عوامل هى :

قوة الزلزال ، عمق بؤرة الزلزال[٤] ، المسافة ونوع صخور مسار الموجات الزلزالية بين بؤرة الزلزال والمكان الذى تقدر فيه الشدة الزلزالية ، نوع التربة ، نوعية المنشآت [٥] .

---

(١) محمد الشرقاوى : الزلازل وتوابعها ، أسبابها ، مخاطرها ، تاريخها ، التنبؤ بها ، مواجهتها ، مركز الأهرام للترجمة والنشر ، ١٩٩٢ ، ص ٥٨-٥٩

(٢) محمد مأمون السعيد وآخرون : الهزات الأرضية ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، الملتقى العلمى للتخفيف من آثار الكوارث ( الزلازل – الحرائق – السيول ) ، القاهرة ، نوفمبر ١٩٩٣ ، ص ٤١

(٣) برايس ووكر : الزلازل ، ترجمة : د/ محمد فهيم سلطان ، سلسلة مطبوعات المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية ، رقم ٨ ، ١٩٨٩ م ، ص ٥-٦

(٤) محمد مأمون السعيد : مرجع سابق ، ١٩٩٣ م ، ص ٤٣

(٥)محمد مأمون السعيد : مرجع سابق ، ١٩٩٣ م ، ص ٤٣-٤٤

## شدة الزلازل وتسارع حبيبات التربة

وضع ريختر العلاقة بين شدة الزلازل وتسارع حبيبات التربة الناشئة عن ذلك في المعادلة الرياضية التالية :

$$\text{Log A} = \frac{I}{3} - 0.5$$

حيث :

Log A : هي القيمة اللوغاريتمية لتسارع حبيبات التربة ( سم / ث٢ )

I : شدة الزلزال على مقياس ميركالي

غير أن قياس شدة الزلزال اعتمادا على التسارع الزلزالي لحبيبات التربة لم يكن دقيقا وذلك لصعوبة قياس وتقدير ذلك التسارع ، هذا بالإضافة إلى أن الأثر الخارجي للزلازل لا يتوقف على قيم التسارع لحبيبات التربة ولكن يعتمد أيضا على سعة موجات تذبذب حبيبات التربة وعلى العلاقة بين فترة الذبذبة الطبيعية لكل الطبقات الصخرية والتراكيب الجيولوجية التي تمر فيها الموجات الزلزالية .[١]

## أجهزة رصد وقياس الزلازل

تسمى أجهزة قياس وتسجيل الزلازل بالسيزموجراف Seismographs والاسم مشتق من الكلمة الإغريقية سيزموس Seismos بمعنى الزلزال ويمكنها أن تسجل الهزات الأرضية بطريقة أوتوماتيكية على أشرطة خاصة على شكل خطوط متعرجة تعرف بالسيزموجرام Seismogram ويتناسب مدى تعرج هذا الخط مع شدة الزلزال[٢]، وتستخدم أجهزة السيزموجراف الحديثة إضافات مغناطيسية وإليكترونية معقدة لتسهيل التقاط الاهتزازات الأرضية وخصوصاً تلك التي لا يشعر بها الإنسان ولذلك فإن الأجهزة الحديثة يمكنها تسجيل أي اهتزازات ولو بسيطة جداً [٣]. ومن خلال ورقة السيسموجرام الناتجة من السيسموجراف يتم حساب قوة الزلزال ومدته وموقعه على سطح الأرض وكذلك تحديد عمق الزلزال تحت السطح واتجاه وقوة الحركة عبر الفالق الأرضي الذي يولد الموجات الزلزالية كما يمكن تحديد اتجاه وإمتداد الفالق والخواص الطبيعية لمواد المناطق التي اخترقتها الموجات لتصل إلى جهاز السيسموجراف وكل هذا يستخرج من رواسم السيسموجراف أو من شريط التسجيل المغناطيسي .

## مظاهر تلف المآذن الاثرية تحت تأثير الزلازل

تتميز المآذن الأثرية بتكوين معماري خاص تتنوع طرزه خلال العصر الإسلامي حيث تأخذ هذه المآذن ارتفاعات كبيرة ولذلك فهي معرضه للتلف بفعل تأثير الحركة الناشئة عن الزلازل ويزداد خطر الانهيار في حالة استخدام مواد بناء غير جيدة والمآذن المملوكية الطراز والتي تنتهي بجوسق قد تتعرض الأعمدة الحاملة للجوسق إلى الضعف ووجود شروخ عميقة فيها قد تؤدي لانهيار الجوسق تحت تأثير الزلازل ويتضاعف التأثير المتلف الناشئ عن الزلازل في حالة تلف وضعف الأساسات والتربة الحاملة لهذه المآذن الأثرية [٤] أما الأساسات فقد لا يظهر

---

(١) مصطفى محمود سليمان : الزلازل ، من فجر التاريخ إلى اليوم ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٦ ، ص ١٧٦

(٢) مصطفى محمود سليمان : مرجع سابق ، ١٩٩٦م ، ص ١٩٥ .

(٣) محمد الشرقاوي : مرجع سابق ، ١٩٩٢م ، ص٣٤-٣٥ .

(4) Aboud, F.B. : Structural Considerations In The Restoration Of Islamic Monuments In Cairo, In The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May 1993,P.3 .

تلفها بفعل الزلازل فى الفحص الأول نظراً لاختفائها أسفل طبقات الردم ولكن يستدل عليها فى حالة حدوث ميل للمئذنة بدءاً من القاعدة مما يدل على سحق موضعى للاساسات والمداميك السفلى أما بالنسبة لجدران المآذن فيتوقف تأثرها على شدة الزلزال وخصائص المواد التكوينة لها فتهتز جزئياً أو كلياً وتنشأ الشروخ فى مناطق الضعف بها (الفتحات والنوافذ) ويختل إتزان المآذن نتيجة لتأرجح الجدران الحاملة لها يميناً ويساراً ويؤدى ذلك لميلها أو سقوطها [1] وبعد زلزال الثانى عشر من أكتوبر عام ١٩٩٢م و الذى قدرت شدته بـ ٥,٩ درجة على مقياس ريختر وكان مركزه على بعد ٣٠كم شمال القاهرة تم رصد العديد من مظاهر التلف بالمآذن الأثرية ومنها [2] :-

١- سقوط كتل من الأحجار من قمم بعض المآذن والتى تعرف بالقمة البصلية Bassala كما يتضح من شكل رقم (١٩) وقد وجد هذا المظهر للتلف فى مئذنة جامع الأمير شيخو الناصرى بمنطقة الصليبية ويعود للعصر المملوكى البحرى (عام ١٣٤٩م ) حيث تساقط جزء كبير من قمة المئذنة فوق سطح الجامع مما سبب حدوث التلف له .

٢- حدوث شروخ أفقية Horizontal Cracks عند أصغر وأضعف قطاع فى منطقة قمة المئذنة (البصلة Bassala) كما يتضح من شكل رقم (٢٠) وقد تم ملاحظة هذا المظهر فى مئذنة مسجد قانيباى المحمدى وهى تعود للعصر المملوكى الجركسى ( عام ١٤١٣م ) وبالإضافة لذلك فقد تم رصد ميل خفيف فى المئذنة .

٣- حدوث شروخ فى الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق Gawsak كما يتضح من الشكل رقم (٢١) وقد تعرضت مئذنة مدرسة صرغتمش والتى تعود إلى العصر المملوكى البحرى ( عام ١٣٥٦م) إلى هذا المظهر من مظاهر التلف [3] .

٤- سقوط بعض الرؤوس التى تزخرف قمة المئذنة وقد وجد هذا المظهر فى بعض المآذن الأثرية ومن أمثلتها مئذنة جامع الحنفى حيث تعرضت لسقوط أحد الرؤوس التى تزخرف المئذنة .

٥- وجود شروخ وانفصال فى مناطق الاتصال بين المئذنة والمسجد ونجد ذلك فى مئذنة مدرسة السلطان حسن وتعود للعصر المملوكى البحرى ( عام ١٣٥٦ م) وكذلك فى مئذنة جامع الغورى ويعود للعصر المملوكى الجركسى ( عام ١٥٠٣م) حيث تم ملاحظة ورصد وجود شروخ قديمة وحديثة وذلك فى مناطق الاتصال بين المئذنة والمسجد وكذلك تم ملاحظة وجود شروخ داخل المئذنة فى الجدران وفى درجات السلم الحجرية أيضاً.[4]

٦- حدوث ميل كبير فى مئذنة الغورى ذات الرأسين بالجامع الأزهر كان يهدد بانهيارها وسقوطها وقد تم رصد هذا الميل وتحديده بعد فترة طويلة وذلك خلال عام ١٩٩٦م أثناء الإعداد لمشروع ترميم الجامع الأزهر وكانت قيمة الميل ٢٧,٢٣سم كما يتضح من شكل رقم (٢٢) وقد خضعت لعمليات الترميم [5] وبالإضافة لما سبق فهناك العديد من مظاهر التلف للمآذن الأثرية بفعل تأثير الزلازل ومن ذلك المآذن التى تعود إلى العصر المملوكى حيث تعرضت لسقوط أجزاء كبيرة منها تشمل القمة والجوسق والأعمدة الحاملة له وربما الأجزاء الموجودة

---

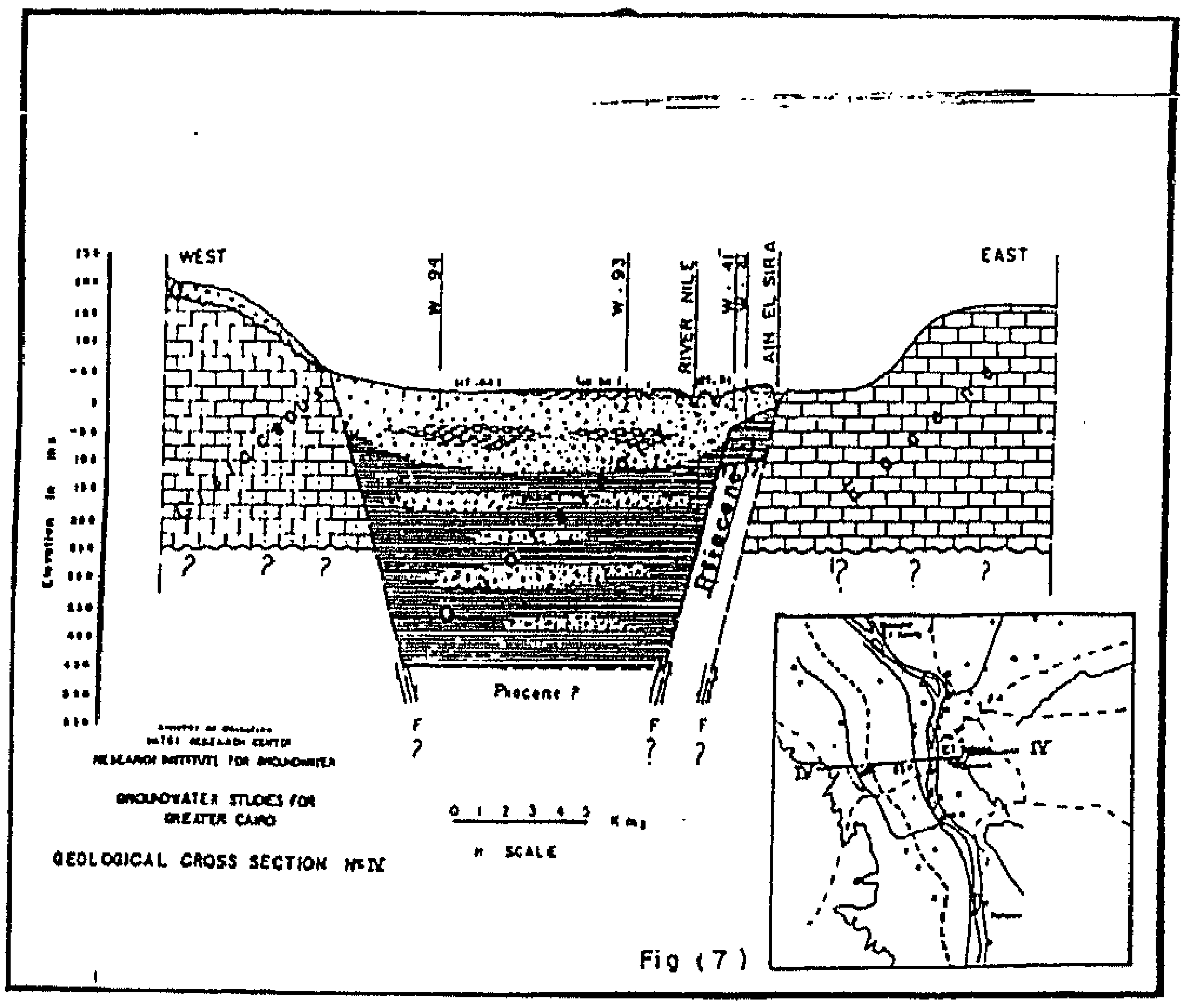
(1) Croci, G.: Damages And Restoration Of Monuments In Cairo, In : Iii International Symposium Of The Conservation Of Monuments In The Mediterranean Basin, Venice, 1994,P.426.

(2) Sherif, A. Mourad And Ashraf M.. Osman : Seismic Risk Appraisal For Islamic Minarets, Faculty Of Eng. Structural Eng. Dep. Cairo Uni., 1994,P.1

(3) Adel A. Abdel – Gawad And Sherif A. Mourad : On The Structural Stability And Repair Of Historical Monuments, Facu. Of Eng. Cairo Uni., 1996,P.4.

(4) Sherif A. Mourad And Ashraf M. Osman : Op. Cit., 1994,Pp.3-5.

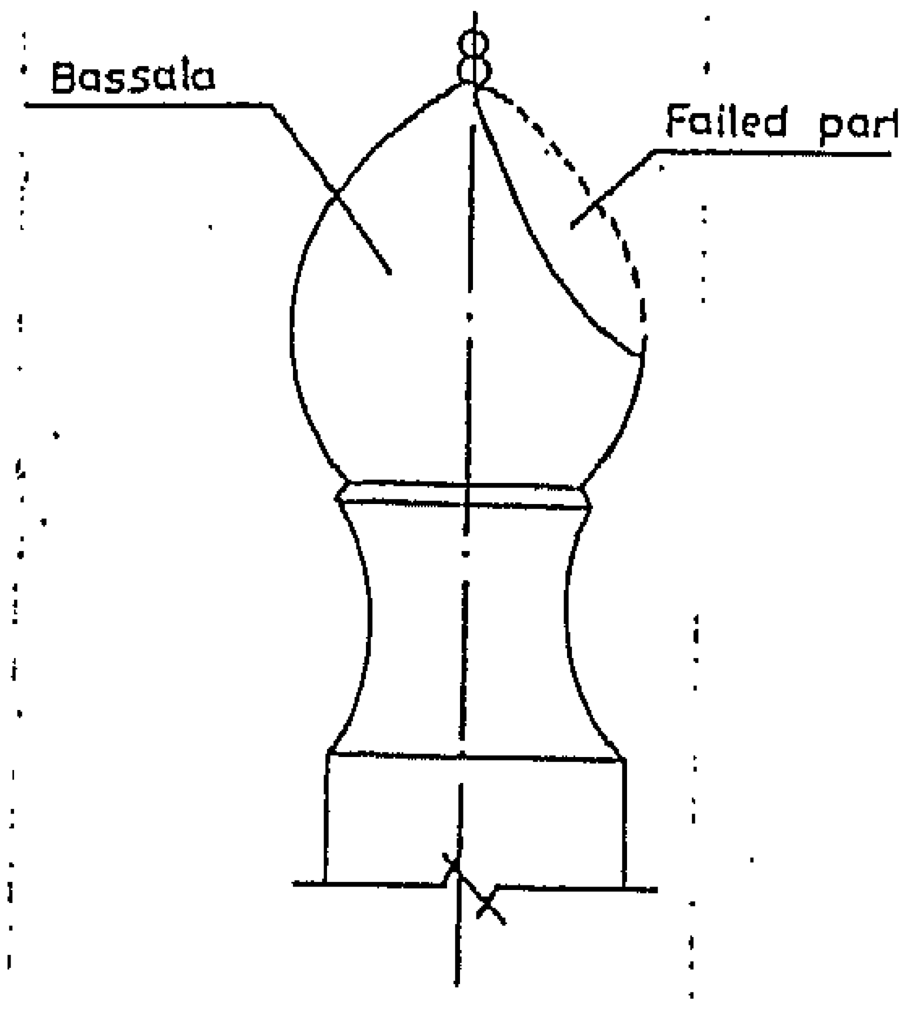
(٥) سعد زكى محمد بلبل : الأعمال المساحية الخاصة برصد ثبات العناصر الإنشائية ، ندوة مشروع ترميم الجامع الأزهر الشريف ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، سبتمبر ، ١٩٩٨ .




شكل رقم ( ١٨ )

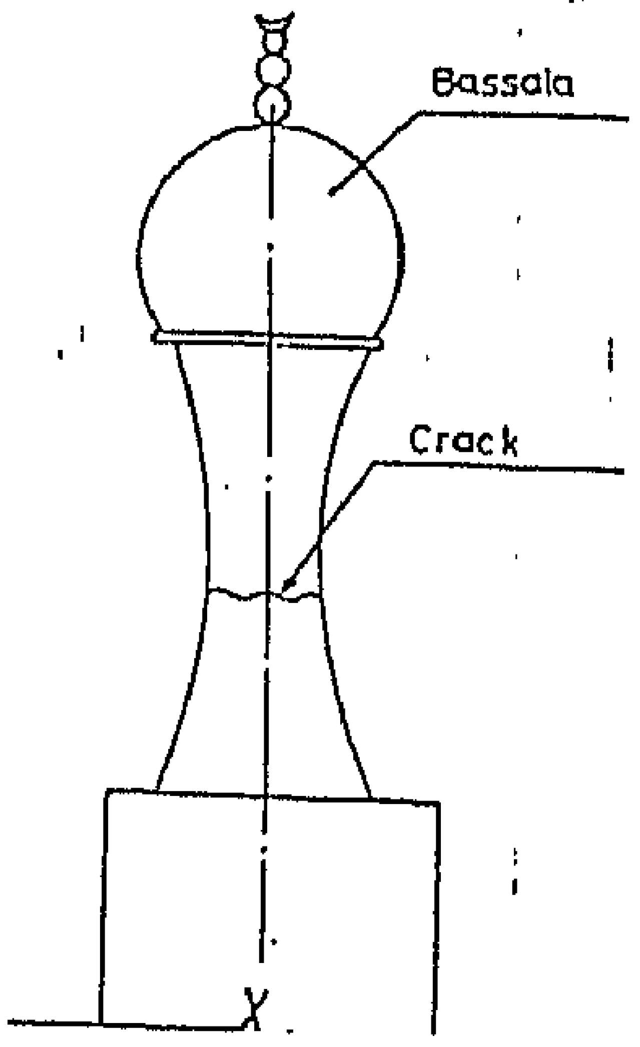
يوضح ظهور عصر البليوسين الأعلى جانبى خزان النيل

( عن مشروع دراسة المياه الجوفية بالقاهرة ١٩٩١م)




شكل رقم ( ١٩ )

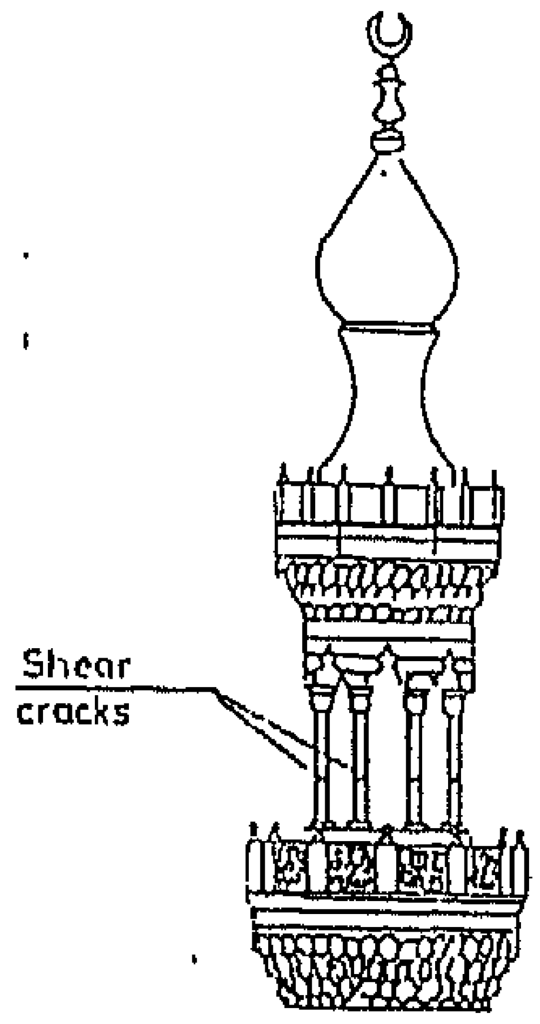
يوضح سقوط كتل الأحجار من القمة البصلية بالمآذن الأثرية




شكل رقم ( ٢٠ )

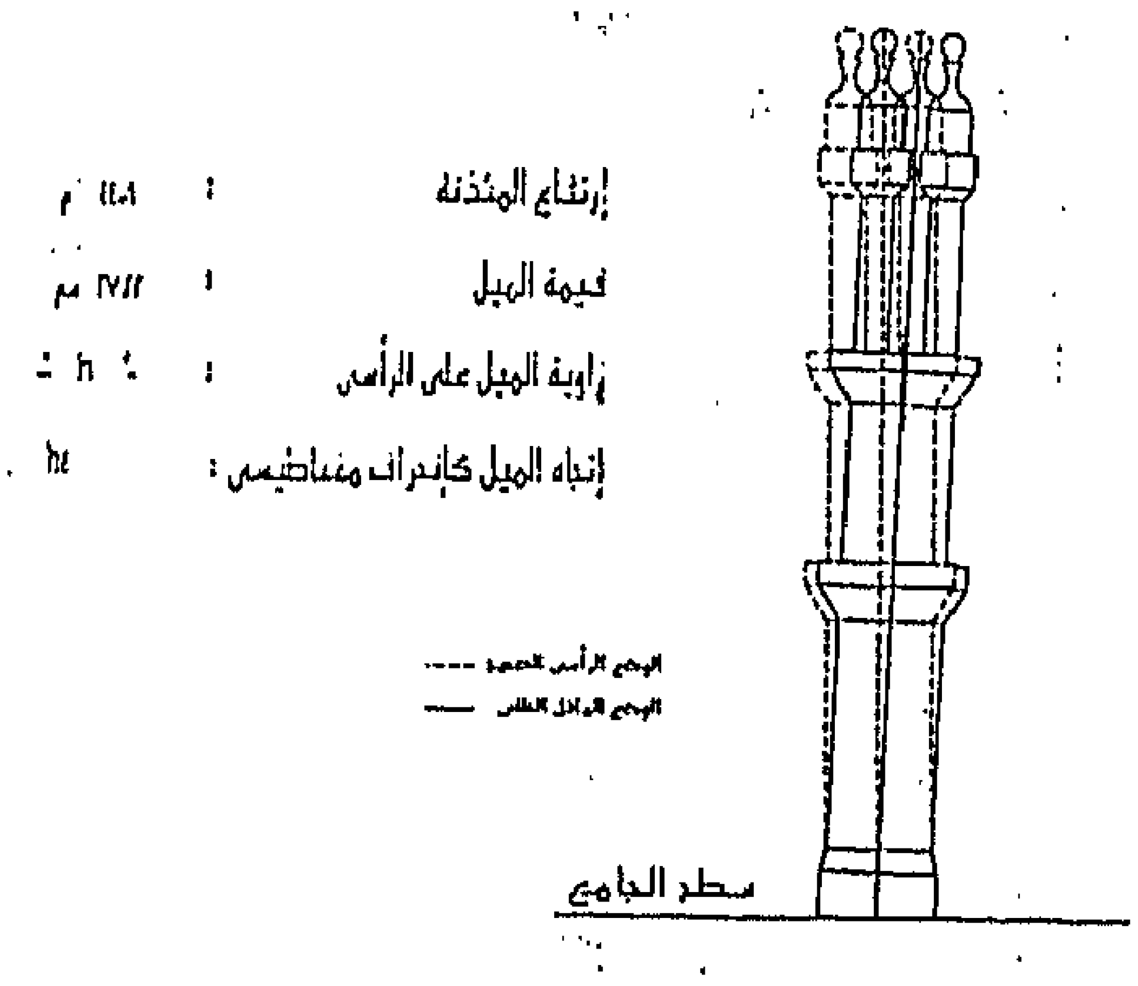
يوضح حدوث شروخ فى أصغر قطاع فى القمة البصلية بالمآذن الأثرية

( عن شريف مراد )




شكل رقم ( ٢١ )

يوضح حدوث شروخ فى الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق ( عن شريف مراد )




شكل رقم ( ٢٢ )

يوضح ميل مئذنة الغورى ذات الرأسين بالجامع الأزهر ( عن سعد زكي )

أسفلها من البدن وذلك بفعل تأثير الحركة المفاجئة التى تحدثها الزلازل وكذلك عدم اتزان الأساسات وتلف التربة [1] حيث أن هذه الأعمدة التى تحمل الجوسق تكون ذات قطر صغير وغير مدعمة أو مثبتة - Un Reinforced حيث تسبب الزلازل انفصال وسقوط هذه الأعمدة مما يؤدى إلى انهيار الجوسق [2] ومن هذه المآذن مئذنة جامع مغلباى طاز وتعود للعصر المملوكى الجركسى ( عام ٨٧١هـ/١٤٦٦م)، صورة رقم (١٩) ومئذنة جامع خايربك وتعود للعصر المملوكى الجركسى ( ٩٠٨هـ / ١٥٠٢م) ، صورة رقم (٧) ومئذنة مدرسة أم السلطان شعبان ، وتعود للعصر المملوكى البحرى ( عام ٧٧٠هـ / ١٣٦٨م) ومئذنة مسجد أيدمر البهلوان ، وتعود للعصر المملوكى البحرى ( قبل عام ٧٤٧ هـ / ١٣٤٦م) صورة رقم (١٥) ومئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث وتعود للعصر المملوكى الجركسى ، صورة رقم (   ) وغيرها .

وبالإضافة إلى ذلك فقد وجدت مآذن تعرضت لسقوط الجوسق وانهياره وتم استكمالها بشكل لا يتناسب مع طرازها المعمارى ومن أمثلة ذلك مئذنة الجامع الإسماعيلى صورة رقم (٩) كما أن هناك العديد من المساجد المملوكية التى تعرضت مآذنها لسقوط للجزء العلوى منها المتمثل فى الجوسق وقد تم استكمال هذه المآذن خلال العصر العثمانى طبقاً للطراز العثمانى والذى ينتهى بقمة مدببة تشبه القلم الرصاص ومن هذه المآذن مئذنة مدرسة اينال اليوسفى ومئذنة مدرسة عبد الغنى الفخرى ( جامع البنات) ومئذنة مسجد لاجين السيفى ، صورة رقم (١٠)

## ٢ ـ مخاطر السيول

تنقسم أرض مصر من حيث طبيعتها وعلاقتها بالسيول إلى عدة أقاليم هى :-

(١) إقليم ساحل البحر المتوسط وهو الذى يمتد من حدود مصر الشرقية حتى حدودها الغربية وبعمق للداخل يصل إلى أكثر من عشرين كيلو متراً .

(٢) إقليم شمال سيناء ويتمثل فى منابع حوض وادى العريش حتى مصبه .

(٣) إقليم جنوب سيناء ويتضمن جبال كاترين وموسى وصخور خليجى السويس والعقبة .

(٤) إقليم شرق وادى النيل ويمتد بطول الوادى من الشمال حتى قرب جنوب أسوان .

(٥) إقليم غرب وادى النيل وهو يوازى إقليم الشرق من ناحية الغرب .

(٦) إقليم الصحراء الشرقية .

(٧) إقليم الصحراء الغربية ويمتد من جنوب إقليم الساحل بالصحراء الغربية حتى حدود مصر الجنوبية والغربية .

ولكل إقليم من الأقاليم السابقة تركيبه الجيولوجى ، علاوة على الوضع المناخى الذى يميز كل منطقة من هذه المناطق من حيث كمية الأمطار وفترات سقوطها [3]

وتتبع مدينة القاهرة إقليم الصحراء الشرقية من حيث علاقتها بالسيول [4] وبالنسبة لإقليم الصحراء الشرقية نجد أن السيول تؤثر على المناطق التى تصلها المياه من وديان الصحراء الشرقية المنصرفة إلى النيل ويكون التأثير مباشراً

---

(1) Aboud, F.B.: Op. Cit. 1993,P.3.

(٢) عاطف الشبراوى :دراسة اتزان المبانى القديمة ، دورة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص١١ .

(٣ ) أحمد عاطف دردير : السيول فى مصر ، منشؤها ، طبيعتها ومخاطرها ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، المؤتمر الدولى لإدارة الكوارث ( الحاضر والمستقبل ) ، أغسطس ١٩٩٤م ، ص١٦٣ .

(٤ ) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مخاطر السيول فى مصر ، مشروع إدارة ومواجهة الكوارث ، القاهرة ، أغسطس ١٩٩٣م، ص١٣ .

على التجمعات السكنية والمبانى والمنشآت المقامة على الجانب الشرقى من النيل كما أن هناك بالصحراء الشرقية أودية قصيرة تتجة من الغرب إلى الشرق لتصب فى البحر الأحمر وتؤثر على الساحل وبعض المدن المقامة عليه[1]، وقد أجريت دراسة للسيول التى حدثت فى إقليم الصحراء الشرقية تم تقسيم الصحراء الشرقية فيه إلى أربعة مناطق وما يعنينا من هذه الدراسة هنا المنطقة من مدينة القاهرة وحتى مدينة أسيوط وبصفة ، خريطة رقم (٧) ، وتتمركز بهذه المنطقة تجمعات سكانية عالية الكثافة ومناطق زراعية وكثير من المنشآت وقد أقيم معظمها على مصبات الأودية مما يعرضها إلى خطر الجريان السيلى مثلما حدث عام ١٩٧٥م حيث تعرضت محافظتى المنيا وأسيوط إلى سيول أرتفع منسوب المياه بها إلى حوالى ٥٠سم وأدى هذا إلى تعطل المرشحات فى محطة مياه الشرب بسبب الرواسب ، ويتضح لنا من خريطة رقم (٨) أن هناك مناطق شديدة الخطورة يصل الجريان السيلى بها إلى معدلات عالية بسبب وادى دجلة القريب من مناطق المعادى وطره ووادى حوف والمنطقة الصناعية لشركة النصر للسيارات وشركة طره الأسمنت ومدينة المعصرة أما مدينة ١٥ مايو فهى معرضه للسيول من وادى جبه ووادى جراوى [2] ، وعلى الرغم من طول فترة انقطاع السيول والتى قد تصل إلى ٥٠ عاما إلا أنه عند حدوثها ستتعرض هذه المناطق جميعها إلى مخاطر فادحة إذا لم تنشأ السدود لحمايتها أو تحويل مجارى السيول إلى أماكن غير معمورة [3] ، وتؤدى الحركة الشديدة للسيول عند تعرض المآذن والمبانى الأثرية لها إلى نزح وإذابة بعض تكوينات التربة مما يؤدى إلى خلخلتها وقد تؤدى لعدم اتزان المبانى الأثرية المقامة فوقها وكذلك عمل ضغوط على الأساسات و إضعافها وإذابة الأملاح الموجودة فى التربة وصعودها على هيئة محاليل ملحية بالخاصية الشعرية داخل جدران المآذن الأثرية مما يؤدى إلى تلفها كما أنه بزيادة المحتوى المائى حول الأساسات تحدث نفس مظاهر التلف التى تم ذكرها عند الحديث عن المياه الأرضية وتأثيرها على المآذن الأثرية .

## **خامسا : التلف الميكروبيولوجى** Micro-biodeterioration

يحدث التلف للأحجار فى المآذن الأثرية وكذلك فى المونات المستخدمة فى البناء بشكل كبير بفعل التلف الميكروبيولوجى وخاصة فى المآذن المنفصلة أو المستقلة عن المبانى الأثرية والمقامة مباشرة على التربة بما فيها من كائنات حية دقيقة مثل البكتريا Bacteria والفطريات Fungi والأشنة Lichens والطحالب algae وتنمو هذه الكائنات الحية الدقيقة عندما تجد درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضوء المناسب لها بالإضافة إلى الغذاء المناسب عن طريق التكوينات العضوية الموجودة فى مواد البناء خاصة المونات ولذلك فهى تستطيع النمو ومهاجمة الأحجار والمونات المستخدمة فى بناء المآذن الأثرية [4] ويزداد التلف لمواد البناء كلما زادت مساميتها وقدرتها على الاحتفاظ بالماء فى هذه المسام [5] والتلف الميكروبيولوجى للمآذن الأثرية له مظاهر فيزيائية وكيميائية حيث

---

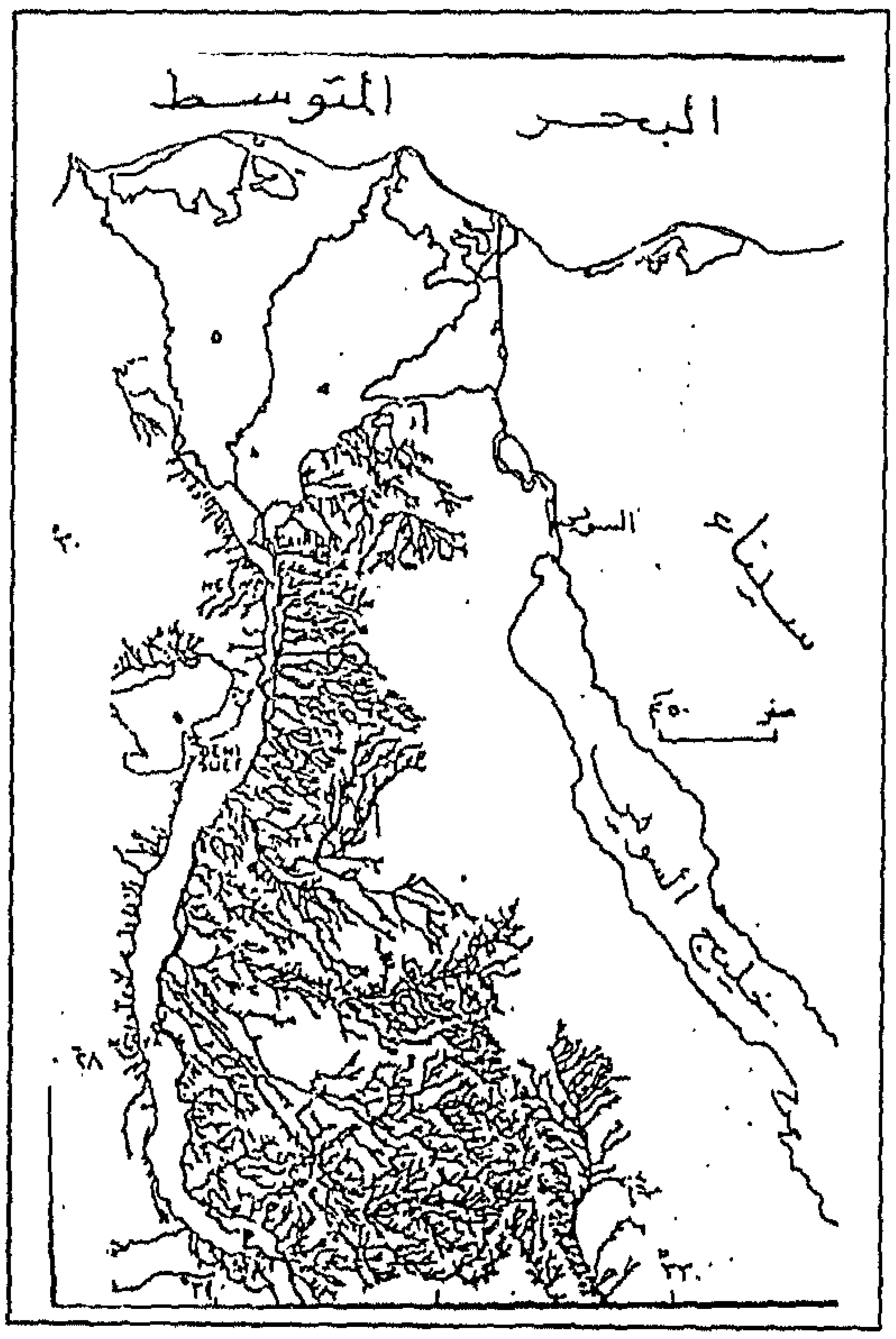
(١) أحمد عاطف درديز : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص١٦٦ .

(٢) ماجد لطفى الركايبى ، أحواض الصرف الأساسية فى مصر ، تقرير عن السيول التى حدثت فى مصر خلال الفترة من ١٩٧٤ حتى ١٩٨٩م ، القاهرة ١٩٩١م ، ص٤ .

(٣) أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا : مخاطر السيول فى مصر ، مشروع إدارة ومواجهة الكوارث ، القاهرة ، أغسطس ١٩٩٣م ، ص٣٧ .

(4) Ferone, C. And Pansini, M.: Preliminary Study On The Setup Of Mortars Displaying Biocidal Activity In, 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.371.

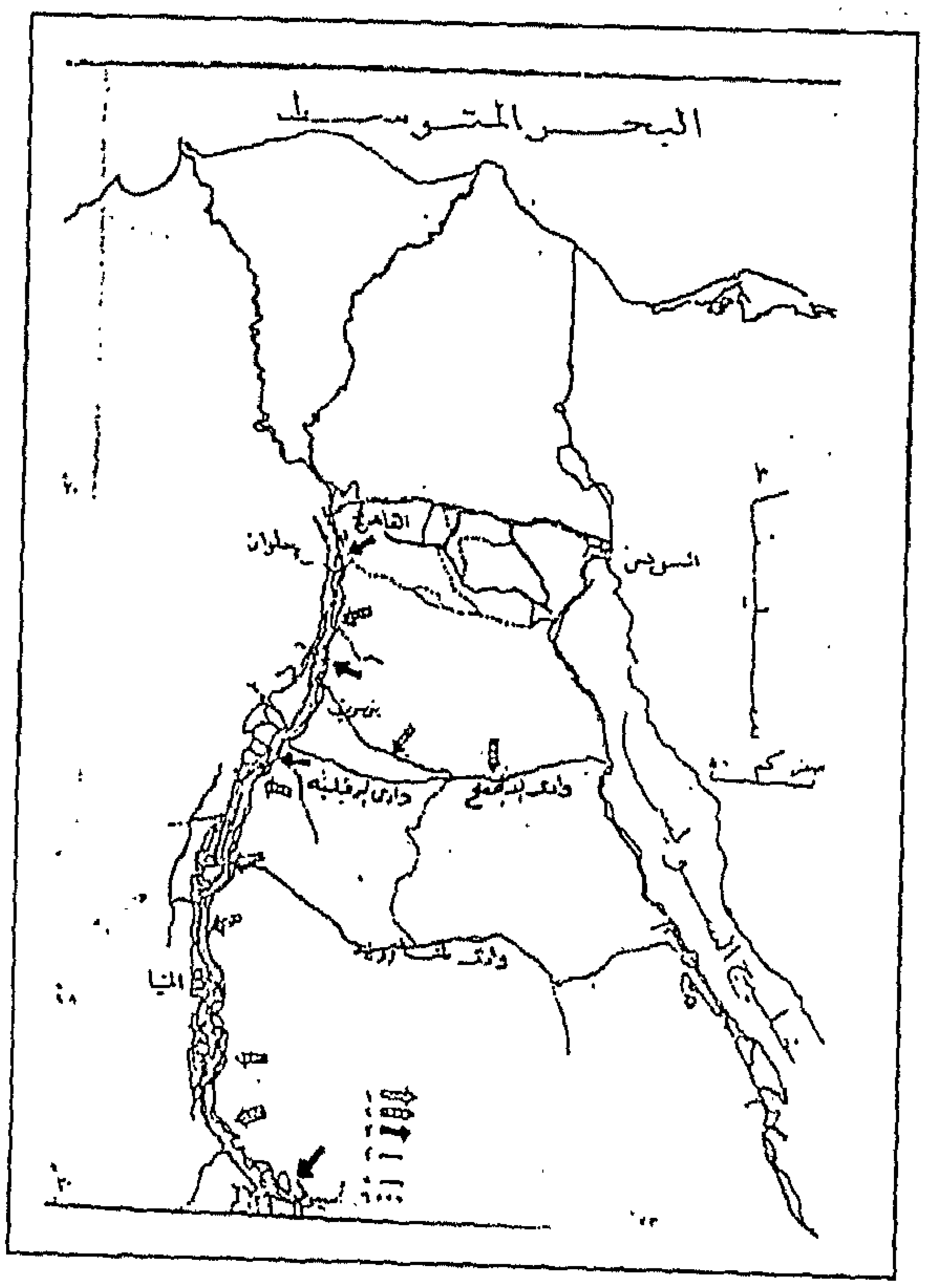
(5) Caneva, G. Et al: Biology In The Conservation Of Art, Iccrom, 1991,P.8.




خريطة رقم ( ٧ )

توضح إقليم الصحراء الشرقية للسيول ( من القاهرة حتى أسيوط )

(عن احمد عاطف دردير، ١٩٩٤م)




خريطة رقم ( ٨ )

توضح المناطق شديدة الخطورة التى يصل بها الجريان السيلى إلى معدلات عالية

(عن احمد عاطف دردير، ١٩٩٤م)

تشمل المظاهر الفيزيائية وجود تفتت وتكسير وانفصالات في مواد البناء أما المظاهر الكيميائية فتشمل الإذابة والتحلل لمواد البناء من مونات وأحجار بفعل إنتاج الأحماض العضوية التي تهاجم مواد البناء أو المتراكبات Complexes أو الأنزيمات Enzymes أو التبادل الأيوني Ion. Exchange [١] وتعتبر أسطح المآذن الأثرية التي تعرضت للتلف الميكروبيولوجي ضعيفة في مقاومتها لعوامل التلف الأخرى ويعتمد وجود الكائنات الحية الدقيقة في التربة على محتواها من المواد العضوية والرطوبة وتستطيع الكائنات الحية الدقيقة الانتقال من الأجزاء السفلى والمداميك الملاصقة للتربة بواسطة المياه الأرضية [٢] التي ترتفع بالخاصية الشعرية داخل جدران المآذن الأثرية وفيما يلي تأثير الأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة على المآذن الأثرية:-

## (ا) البكتريا Bacteria

تعتبر البكتريا من أكثر الأنواع الميكروبيولوجية وجودا سواء من حيث الأعداد أو الأنواع أو النشاط والبكتريا تتميز بصغر حجمها ولا ترى إلا بالمجهر وتتراوح في أقطارها ما بين ٠,٥ إلى ١ ميكرون وهي كائنات وحيدة الخلية [٣] و تحصل أغلب أجناس البكتريا على غذائها من المواد العضوية للكائنات الميتة وتسمى في هذه الحالة مترممة أو تعيش متطفلة على النبات أو الإنسان أو الحيوان ومعظمها يعيش عيشة تكافلية حيث تتعاون مع غيرها من الكائنات للحصول على غذائها [٤] ، وتعتبر البكتريا الضوئية التي تستمد طاقتها من ضوء الشمس ومن عمليات الأكسدة واختزال المواد غير العضوية في الوسط المحيط وكذلك البكتريا ذاتية التغذية التي تستمد طاقتها من اكسدة المواد العضوية من أشهر أنواع البكتريا التي تسبب أضرارا خطيره لمواد البناء المختلفة لأنها تفرز أحماضا بعضها قوى وبعضها ضعيف [٥] ويمكن تقسيم البكتريا المتلفة لمواد البناء من أحجار ومونات إلى نوعين :-

### (أ) البكتريا المؤكسدة للكبريت SulphurOxidizing Bacteria

هي البكتريا التي تعتمد في نموها وتكاثرها على مركبات الفوسفور والكبريت وهذا النوع من البكتريا يستمد طاقته من خلال اختزال المركبات الكيميائية غير العضوية المتمثلة في أكسدة واختزال كثير من المعادن الكبريتية والفوسفورية التي تستغلها في عمليات النمو ومباشرة نشاطها الحيوي [٦] حيث ينتج عن هذه التفاعلات أحماض مثل حمض الكبريتيك $H_2SO_4$ الذي يهاجم الأحجار والمونات وطبقات الملاط المحتوية على معدن الكالسيت ويحولها إلى كبريتات الكالسيوم المائية ( معدن الجبس) $CaSO_4 . 2H_2O$ وينتج عن ذلك حمض الكبريتيك كما في المعادلتين الآتيتين :-

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

---

(1) Ferone, C. And Pansini, M. : Op. Cit., 2000,P.371.

(2) Pitzurra, L. Et al: Microbial Environmental Monitoring Of Stone Culture Heritage, In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.483.

(٣ ) سعد على زكى : ميكروبيولوجيا الأرضى ، مكتبة الانجلو المصرية ، القاهرة ، ١٩٩٨ ص٣٢ .

(٤ ) ج.ف. ولكنسون : مقدمة في علم الميكروبيولوجيا ، ترجمة : نبيل إبراهيم ، المريخ للنشر ، الرياض ، ١٩٨٩م ، ص٤٦.

(٥ ) هزار عمران : المباني الأثرية ؛ ترميمها ، صيانتها ، الحفاظ عليها ، القاهرة ، ١٩٩٨م ، ص١٥٢.

(6) Jones , M.S. Et al: Microbial Environmental Monitoring Of Stone Culture Hertage, In 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.473.

ومن أمثلة بكتريا الكبريت (Thiobacilli) والتى تنمو بأعداد كبيرة قد تزيد عن ١٠٠٠٠ خلية لكل جرام من التربة وربما تزيد أكثر من ذلك إذا توافرت لها الظروف الملائمة للنمو والتكاثر خاصة الرطوبة العاليـــة والغـــذاء وهذا النوع من البكتريا يطلق عليه البكتريا ذات دورة الكبريت حيث تتعامل مع مركبات الكبريت مثل $H_2S$ , $SO_3$ , $SO_2$ ليتكون حمض الكبريتيك فى النهاية والذى يحول معدن الكالسيت ( كربونات الكالسيوم ) إلى معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية ) .

## (ب) البكتريا ذات دورة النيتروجين

وهى من أنواع البكتريا غير ذاتية التغذية حيث أنها تؤكسد المواد العضوية باستخدام الطاقة الكيميائية الناتجة عـــن أكسدة بعض المركبات [1] وتهاجم هذه الأنواع من البكتريا أحجار المآذن الأثرية بفعل الأحماض العضويـــة وغـــير العضوية التى تفرزها وتتفاعل هذه البكتريا مع مركبات النيتروجين مثل النشادر $NH_3$ ليتكون حمـــض النيـــتريك $HNO_3$ ، وهناك أنواع أخرى من البكتريا تعرف ببكتريا المواد العضوية والسكرية والتى تنتج أحماضاً عضويـــة عن طريق الحصول على احتياجاتها من الطاقة من خلال تفاعلات الأكسدة للمـــواد العضويـــة وتعطـــى أحماضـــاً عضوية مثل حمض الستريك والأوكساليك واللكتيك وتؤدى هذه الأنواع من الأحماض إلى تكوين أملاح الجبـــس [2] على أسطح المآذن الأثرية .

## (٢) الفطريات Fungi

الفطريات كائنات حية دقيقة غير ذاتية التغذية وهى أقرب فى صفاتها وشكلها العام إلى النبات عنه إلى الحيوان وهى تتبع المملكة النباتية تحت مجموعة النباتات الثالوسية ، وبعض الفطريات تعيش على تحليل البقايـــا النباتيـــة وبقايـــا الأجسام الحيوانية وتسمى مترممة أو تعيش متطفلة على محتويات الخلايا الحية نباتية أو حيوانية و يحتاج الفطر إلى الدفء وانسب ظروف لنموه وانتشاره درجة حرارة تتراوح بين ٢٤م°: ٣١م °، أما درجة الرطوبة المناسبة فتكـون بين ٦٥% - ٨٠% ويعتبر وجود الفطريات على أسطح المبانى الأثرية مؤشراً على وجود رطوبة مرتفعة ، وتنفـذ التفرعات الفطرية FungalHyphae داخل الحجر من خلال الشقوق والشروخ وتـــؤدى إلـــى إحداث التلـــف[3] وخطورة هذه الفطريات تكمن فى الأحماض العضوية غير العضوية التى تفرزها وكذلك تشوه الســـطح الخـــارجى للجدار الحجرى وكذلك ربما تنمو هذه الفطريات أسفل السطح مما يؤدى فى النهاية إلى انفصال الطبقات الخارجيـــة للأحجار وتعرض المآذن الأثرية لتلف وتآكل وتفتت أسطحها الخارجية بالإضافة إلـــى التشـــوه اللونـــى للأســـطح الخارجية للمآذن الأثرية بفعل إنتاج الفطريات لألوان مختلفة وخاصة اللون الأسود الذى يؤدى إلى طمس الزخـــارف والنقوش والألوان [4] التى قد تكون موجودة على أسطح المآذن الأثرية .

---

(1) Weber, H. And Zinsimeister, K. : Conservation Of Natural Stone, Expert Verlag, Germany, 2000, P.51.

(2) Torraca, G. :Op. Cit., 1982,P.47.

(٣) ر-ف شابمان : الحشرات ، التركيب والوظيفة ، ترجمة د/ محمد لطفى ، الدار العربية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٨م ، ص٣٢.

(4) Altieri, A. : Biological Patinas On The Limestones Of The Loches Romanic Tower, (Touraine, France) In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.433.

## ٣) الطحالب Algae

تهاجم الطحالب أسطح الأحجار وخاصة الأسطح المبتلة أى أنها تنمو فى خلال ظروف عالية الرطوبة . وتتميز هذه الكائنات باحتوائها على الكلوروفيل ولذلك فهى كائنات تقوم بعملية التمثيل الضوئى ومنها تحصل على الطاقة الأزمة لها ، وأهم الطحالب التى تنمو على أسطح الأحجار الأثرية فى مصر هى الطحالب الخضراء Green Algae وكذلك الطحالب الخضراء المزرقة Blue Algae (١) حيث تقوم تلك الأنواع بتغيير لون الحجر وتقوم الطحالب من نوع Halmatana بإفراز أحماض مختلفة خاصة حمض الأوكساليك و اللاكتيك وحمض الاستيك وحمض الكوبونيك وحمض الكبريتيك بالإضافة إلى بعض الأحماض العضوية الضعيفة والتى تتفاعل مع التكوينات المعدنية(٢) ، وتسبب التلف للمعادن والصخور ونادراً ما تتوغل الطحالب اسفل أسطح الأحجار التى تنمو فوقها لذلك فإن نشاطها يقتصر على أسطح هذه الأحجار ويعرف التلف الناشئ عن نمو الطحالب فى هذه الحالات بالتلف السطحى وخاصة فى وجود الرطوبة الجوية العالية حيث يحدث نمو هذه الطحالب على الأسطح ثقوب متجاورة وتشوه المظهر الخارجى لتلك السطوح (٣) كما أن هذه الطحالب إذا نمت بكميات كبيرة أسفل أسطح مواد البناء فإنها تؤدى إلى تقشر هذه الأسطح التى تتساقط بمرور الزمن (٤) وقد ثبت أن الطحالب تحتاج فى عمليات التكاثر والنمو إلى الضوء الذى يمدها بالطاقة اللازمة لتلك العمليات لذلك فإنه قلما تنمو هذه الطحالب بكميات كبيرة فوق أسطح الجدران الداخلية (٥) للمآذن الأثرية .

## ٤) الأشنة Lichens

الأشنة كائنات حية دقيقة تنمو على الصخور فى شكل مستعمرات يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتتكون الأشنة نتيجة اتحاد الفطريات والطحالب وهذه العلاقة التكاملية تعنى أن الأشنة تستطيع مقاومة ظروف الجفاف أو الرطوبة الشديدة حيث تتميز الأشنات بقدرتها على تحمل الجفاف التام لفترة طويلة كما تتحمل البرودة أو الحرارة الشديدتين (٦) وتنمو افضل فى الجو الرطب، وتنمو الاشنان على الأسطح المبتلة حيث يتأثر نموها بالضوء المباشر ودرجة الحرارة المعتدلة ورطوبة ثابتة وهواء جوى نقى ورياح (٧)

### تكوين الأشنة

تتركب الأشنة من منظومة من الخيوط الفطرية والتى تعرف بالميسليوم والفطريات التى تكون الأشنة من نوع الفطريات البازيدية والنوع الشائع منها الفطريات الزقية ، والطحالب من نوع الطحالب الخضراء أو الطحالب الخضراء المزرقة ، ومن أشهر الطحالب التكوينة للاشنة طحلب النوستوك ، وينتقل الفطر مع هبوب رياح شديدة والتى تصطحب معها الطحالب إلى أماكن جديدة حيث يندمجا معاً مكونا الأشنة (٨) وتلعب الأشنة دوراً هاماً فى تلف

---

(1) Feilden, M.B.: Op. Cit., 1982,P.138.

(٢) ر.ف. شابمان : مرجع سابق ، ١٩٨٨م ، ص٣٨ .

(3) Veloccia, M.L.: Conservation Problems Of Mosaic In Situ, In Mosaics No. 1,1977,P.44.

(4) Richardson, B.A.: Defects And Deterioration In Buildings, E.F.N. Spon, London 1990,P.122.

(٥) ر.ف. شابمان : مرجع سابق ، ١٩٩٨م ، ص٣٩ .

(٦) كير . أستورك : الاستنات ، ترجمة د/ عبد العزيز جاد ، الرياض ، ١٩٩٨م ، ص٦٢ .

(7) Torraca, G.: Op. Cit., 1982, P.P. 48-49.

(٨) كير- استورك : مرجع سابق ، ١٩٩٨م ، ص٦٨ .

مواد البناء المختلفة والتى تحتوى على نسبة عالية من الرطوبة حيث تنتج عن الأشنة أحماض عضوية مثل حمض الأوكساليك وحمض الجلوكونيك وكذلك حمض الطرطريك حيث تسبب هذه الأحماض التشوه والتفتت المعدنى للأحجار الكربوناتية مما يتسبب فى انفصال أجزاء منها بمرور الوقت حيث تعمل الأشنة على حجز الماء طويلاً فى الحجر الذى تنمو عليه مما يؤدى إلى تلف الحجر وكذلك تعمل على امتصاص غازات التلوث الجوى مما يؤدى فى النهاية إلى حدوث مظاهر التلف [١] ، الفيزيوكيميائية للأحجار وتتسبب فى نحر الحجر وبعض أنواع الأشنة تنمو على السطح على هيئة طبقات بيضاء اللون يمكن أن تتسرب إلى عدة مليمترات تحت مواد البناء حيث تحدث أضرار خطيرة [٢] بهذه المواد وذلك بسبب الأحماض العضوية التى تفرزها هذه الأشنة وإذا كان التلف الناتج عن هجوم الأشنة يتم فى صورة بطيئة إلا أن بعض أنواع الأشنة تشوه السطح وقد تكون الأشنة طبقات أخرى غير البيضاء حيث تكون طبقات إسفنجية ذات لون رمادى وهذه الطبقات تتميز بقدرتها على أمتصاص الرطوبة من الجو أو المياه التى تسربت داخل الأحجار من باطن التربة .[٣] وتؤثر كذلك الكائنات الحية الدقيقة فى العناصر الخشبية فى حالة وجودها فى المآذن حيث تؤدى إلى تحللها وتضعف من تماسكها وخواصها الميكانيكية بما تفرزه من أحماض متلفة كما تؤدى أيضاً إلى تغير ألوانها وتشويهها .

## سادساً : التلف البشرى Man – Made Deterioration

يمثل العامل البشرى العديد من مظاهر التلف للمآذن الأثرية ومن مظاهر التلف البشرى بالمآذن الأثرية ما يلى:-

### (ا) الأخطاء التصميمية والإنشائية فى عمليات بناء المآذن الأثرية

يعود تصميم المآذن بطرزها المختلفة سواء طراز المبخرة أو الطراز المملوكى ذو الجوسق المحمول على ثمانية أعمدة أو الطراز العثمانى المسلوب المعروف بطراز القلم الرصاص (ذو القمة المدببة ) إلى العامل البشرى ونظراً للارتفاعات الشاهقة للمآذن الأثرية وأقطارها المسلوبة فيجب أن تكون المئذنة متزنة إنشائياً ورأسية تماماً قدر الإمكان ولا يوجد بها أى ميول عند بنائها وقد نجح المعمار المسلم فى عمل ذلك ولكن فى بعض الحالات كانت توجد بعض الأخطاء التى لا ينطبق فيها مركز ثقل أحد المستويات فى المئذنة على المستوى الموجود أسفله أو وجود ميول بشكل طفيف فى المئذنة نظراً لارتفاعها الكبير وصغر أقطارها أو قد لايتحرى المعمارى الدقة فى اختيار الأعمدة التى تستطيع الصمود لفترة طويلة لحمل جوسق المئذنة وذلك فى المآذن المملوكية الطراز أو عدم مراعاه اختيار الأقطار المناسبة للأعمدة والتى تجعلها تقاوم الأحمال الميكانيكية والضغوط الواقعة عليها .

مما يؤدى إلى انهيار الجزء الخاص بالجوسق بعد انهيار وسقوط الأعمدة الحاملة له ونجد هذا المظهر للتلف فى العديد من المآذن مثل مئذنة قانيباى الجركسى بمنطقة السيدة عائشة صورة رقم (١٦) ومئذنة يشبك من مهدى (موضوع الجانب التطبيقى للرسالة ) صورة رقم ( ٢٨ ) ومئذنة جامع خايربك صورة رقم (٧) وغيرها حيث تساهم هذه الأخطاء إلى جانب تلف وتداعيات التربة وما ينتج عنها من هبوط غير منتظم إلى جانب الحركة

---

(١) عصام محمد سيد أحمد : دراسة تأثير التلف العضوى على أحجار بعض المنشآت الأثرية ، رسالة ماجستير ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٩م ، ص

(٢ ) هزار عمران ، جورج دبورة : المبانى الأثرية ، ترميمها ، صيانتها والحفاظ عليها ، القاهرة ، ١٩٩٨م، ص١١٩ .

(٣) عصام محمد سيد : مرجع سابق ، ١٩٩٩م ، ص١٢٦ .

الديناميكية المفاجئة الناشئة عن حدوث الزلازل فى فقدان قمم المآذن حيث لم تسلم كذلك المآذن ذات القمة العثمانية من الانهيار ومثال ذلك مئذنة مسجد مغلباى طاز صورة رقم (١٩) ومئذنة مسجد أحمد المهمندار صورة رقم (٢٤)

## ٢) الترميم الخاطئ

ينتج عن أعمال الترميم فى بعض الأحيان تلف للمآذن الأثرية وذلك عندما يكون ترميماً خاطئاً ومن ذلك استخدام مونة الأسمنت أو الجبس فى ترميم المآذن لما ينتج عنها من أملاح تنتقل إلى الجدران ثم تتبلور فى أماكن مختلفة حيث يسبب تبلورها حدوث ضغوط موضعية وإجهادات تؤدى إلى تفكك تكوينات الأحجار ومواد البناء وتآكلها ومثال ذلك مئذنة مسجد أيدمر البهلوان بمنطقة الحسين حيث تشير محاضر وتقارير لجنة حفظ الآثار العربية [١] أنه أثناء إجراء عملية ترميم لمسجد أيدمر البهلوان وجدت أحجار متآكلة بشكل كبير فى قاعدة المئذنة فتم إجراء عملية ترميم لها عن طريق كتل من الحجر الجيرى المنحوت بمونة الجبس صورة رقم (١٣) ومن أمثلة التلف الحادث بفعل استخدام مونة الجبس هو فقدانه لماء تبلوره وتحوله إلى معدن الانهيدرايت (كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ ) حيث ينكمش ويأخذ حجماً أقل من حجم الجبس فتحدث هشاشية لمواد البناء وتفكك أما الأسمنت فينتج عنه الكثير من الأملاح ومنها ملح كبريتات الصوديوم $Na_2SO_4$ وسيليكات الصوديوم $Na_2SiO_3$ وهيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ [٢]

## ٣) حركة النقل والمواصلات

تعتبر مدينة القاهرة من المناطق ذات الكثافة السكانية الكبيرة ولذلك توجد وسائل النقل والمواصلات بأنواعها المختلفة وبأعداد كبيرة مما يؤدى إلى تلوث الهواء بعوادم السيارات وما تنتجه من مواد هيدروكروبونية وغازات ملوثة مثل أول أكسيد الكربون CO وغازات النيتروجين $NO_x$ [٣] ويؤدى ذلك فى وجود الرطوبة بمصادرها المختلفة والرياح إلى تلف شديد للمآذن الأثرية كما لا توجد بالمناطق التى تحتوى على المآذن الأثرية شبكة طرق تستطيع استيعاب حجم ونوع ووزن وسرعة السيارات ووسائل النقل المختلفة وبالإضافة لزيادة معدلات التلوث الناشئة عن عوادم السيارات [٤] والحالة السيئة للكثير من هذه السيارات نجد ازدياد مقدار الذبذبات والاهتزازات الناتجة عن حركة وسائل النقل والآليات الثقيلة مما يؤثر بالسلب على التربة الحاملة للمآذن وفى حالة اختلال التربة بفعل ذوبان بعض تكويناتها وانتفاش البعض ( مثل معدن المونتمورللونيت) بتأثير ارتفاع مناسيب المياه الأرضية وفى وجود هذه الاهتزازات قد تحدث تأثيرات بالغة السوء للمآذن الأثرية التى تكون قد تعرضت لتقادم مواد بناءها وتلفها بفعل عوامل التلف المختلفة وتوضح صورة رقم (١١) مئذنة الغورى بعرب اليسار وهى واقعة على شارع الأزهر بما فيه من حركة نقل ومواصلات كثيفة ويظهر تأثرهما بعودام السيارات والذبذبات والاهتزازات الناتجة عن حركتها ويضاف أيضاً لذلك وجود تلوث بصرى بفعل عدم تجانس أشكال السيارات وأحجامها وإعدادها الكبيرة والازدحام الناتج عنها مع طبيعة الأماكن الأثرية ومواقع المآذن الأثرية.

---

(١) محاضر وتقارير لجنة حفظ الآثار العربية لسنتى ١٨٨٩م ، ١٨٨٨م ، رقم (٥) ص٦١.

(2) Honeyborn, D.: Weathering And Decay Masonary In : Conservation Of Building And Decorative Stone, Vol.2, London ,1990,P.153.

(٣) منظمة العواصم والمدن الإسلامية ومركز إحياء تراث المعمارى الإسلامية : أسس التصميم المعمارى والتخطيط الحضرى فى العصور الإسلامية المختلفة ، ١٩٩٠م ، ص٥٣٢ .

(٤) منظمة العواصم والمدن الإسلامية ، الموجع السابق ، ١٩٩٠م ، ص٥٢٧ .

## (٤) الأعداد الكبيرة للسائحين والزائرين

تتعرض المآذن الأثرية إلى التلف بفعل الزيارات الدورية للأعداد الكبيرة من السائحين وخاصة مع طبيعة المآذن الضيقة من الداخل حيث تزداد نسبة الرطوبة الناتجة من تنفس السائحين أو الزائرين ولا تتسرب هذه النسبة الزائدة من الرطوبة النسبية إلى الخارج بسهولة بفعل ضيق المآذن الأثرية من الداخل وارتفاعاتها الكبيرة وعدم وجود تهوية كافية بداخلة لتغيير الهواء الموجود وبذلك قد يحدث تكثف لهذه النسبة من الرطوبة إذا انخفضت درجة حرارة الجدران الداخلية إلى اقل من نقطة الندى Dew Point وقد يحدث هذا فى الصباح الباكر حيث تتشربها الجدران وقد تسبب ذوبان الأملاح الموجودة أو ذوبان الغازات والعوالق الصلبة المترسبة على الأسطح الداخلية مما يؤدى إلى تلف وتآكل هذه الأسطح وكلما زادت نسبة الوجود البشرى المتمثل فى أعداد السائحين والزائرين داخل المآذن الأثرية كلما زادت الخطورة حيث ينتج الشخص الذى يتنفس داخل الأثر حوالى ٥٠ جرام من بخار الماء خلال ساعة واحدة [١]

## (٥) التعديات والاشغالات للمآذن الأثرية وعدم صيانتها دورياً

من ضمن عوامل تزايد معدلات تدهور المبانى الأثرية ومن أهم عناصرها المآذن الأثرية هو حدة مشكلة الإسكان بوجه عام فى مصر وبوجه خاص فى مدينة القاهرة حيث ينتج عن هذه المشكلة تعدى الناس على الآثار القائمة للسكن فيها كما هو الحال فى العديد من المبانى الأثرية ، حتى أن الآثار الموجود فى مناطق المدافن والجبانات مثل صحراء المماليك ومنطقة الإمام الشافعى والإمام الليث وغيرها لم تسلم من التعديات والاشغالات ومثال ذلك المئذنة موضوع الدراسة التطبيقية بالرسالة وهى مئذنة يشبك من مهدى وهى مئذنة مستقلة ومنفصلة عن مسجد الإمام الليث نظراً لعدم وجود حرم حولها فقد تم إلقاء القمامة والمهملات ومخلفات البناء حولها مما أدى إلى حجب جزء كبير من قاعدتها بالإضافة إلى أن حرق القمامة بجوار المئذنة أدى إلى وجود طبقات كثيفة من السناج على الأسطح الخارجية لها خاصة فى الممر المقبى الموجود أسفلها ومنطقة القاعدة المربعة للمئذنة كما يتضح من صورة رقم(١٢) كما تم إنشاء سكن عشوائى بالطوب ومسقف بالصفيح إلى جوار المئذنة مما أدى إلى إخفاء أحد جوانبها ولم يقتصر الأمر من حيث التعديات على الإقامة داخل المبانى الأثرية ولكن أمتد التعدى لكى يشمل هدم وإضافات داخلية وتقسيم داخلى للأثر لكى يتناسب مع المتطلبات المعيشية للسكان بالإضافة إلى الاشتغالات للمبانى الأثرية والمتمثلة فى الأنشطة التجارية وممارستها داخلها وكذلك الحرف الصناعية والورش الحرفية حيث يقوم المستغلون لهذه الأماكن بإجراء التغييرات والتعديلات التى تتناسب مع مصالحهم الخاصة بغض النظر عما يحدثون من أضرار للآثار والمآذن الأثرية التى يشغلونها أو التى تقع فى الجوار سواء كانت أضراراً مادية أو معنوية . [٢]

---

(1) Honey Born, D.: Effects Of Large Numbers Of Visitors On Historic Buildings In: Conservation Of Building And Decorative Stone , London, 1990, P. 232.

(٢) أسس التصميم المعمارى والتخطيط الحضرى فى العصور الإسلامية المختلفة بالعاصمة القاهرة ، مركز الدراسات التخطيطية والمعمارية ومركز أحياء تراث العمارة الإسلامية ، منظمة العواصم والمدن الإسلامية ، ١٩٩٠م ، ص ٥٢٨ – ٥٢٩ .

# الفصل الرابع
# دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية

تتناول عمليات علاج وصيانة المآذن الأثرية العديد من العمليات حيث تجرى فى البداية الدراسة التاريخية والتسجيل الأثرى وتسجيل الوضع الراهن والرصد المساحى وتحديد مدى رأسية وإتزان المآذن الأثرية والفحوص والتحاليل لمواد بناء المآذن الأثرية وكذلك الدراسات الخاصة بالتربة والاساسات إلى جانب التحليل الانشائى للمآذن باستخدام النماذج الرقمية للحساب الآلى وذلك لوضع خطة العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية وذلك كالتالى :

## أولاً : الدراسات الأولية التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية

### ١- الدراسة التاريخية الاثرية :

الهدف من هذه الدراسة تحديد الظروف التاريخية التى بنى فيها الأثر وتشمل تاريخ البناء وأسم المنشئ [١] والوظيفة الأصلية للمبنى ومراحل تنفيذه ومواد البناء الأصلية والعوامل المؤثرة على طرازه المعمارى [٢] كما تتناول البيئة العمرانية المحيطة بالأثر والإضافات والتغيرات التى طرأت على الأثر [٣] والتعرف على مكان الإنشاء ودراسة وتجميع التتابعات الزمنية لكافة الإحداث التى تركت تأثيراً على المبنى [٤] مع بيان الإضافات أو التعديلات التى طرأت على الأثر وسوف يتم توضيح هذه الدراسة بالرسومات والصور كلما أمكن ذلك[٥] .

### ٢ ـ الاعمال السابقة

يتم حصر جميع الأعمال السابقة التى أجريت للمآذن الأثرية من تسجيل فوتوغرافى يوضح الوضع والشكل الأصلى لهذه المآذن والبيئة المحيطة بها والرفع المعمارى لأهمية ذلك لمقارنته بالوضع الراهن لهذه المآذن الأثرية وتجميع الدراسات التى قد تكون أجريت على التربة ووصف التتابع الطبقى لها وكذلك استكشاف الأساسات والرصد المساحى لتحديد مدى ثبات وإتزان المآذن أو وجود هبوط أو ميل بها للاستعانة بذلك فى إجراء التحليل الانشائى لها إلى جانب ذلك يتم تجميع كافة البيانات الخاصة عن أى أعمال ترميم أجريت فى الفترات السابقة للمآذن الأثرية لأهمية ذلك أيضاً فى إعداد مشروعات علاج وترميم وصيانة هذه المآذن .

### ٣ ـ التسجيل والتوثيق الاثرى للوضع الراهن للمآذن الاثرية

يتم فى هذه المرحلة التسجيل والتوثيق الاثرى للمئذنة حيث يتم عمل وصف أثرى ومعمارى للمآذن بكافة تفاصيلها المعمارية[٦] ، كما يتم تسجيل الوضع الراهن للمآذن بكافة أوجهه المعمارية والعمرانية والإنشائية ويتم دراسة ذلك

---

(١) طارق المرى : استخدام الحاسب الآلى فى إعداد وتسجيل مشروعات الآثار ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات الطراز المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ١٩٩٣م .

(٢) على غالب: مراحل إعداد مشروعات ترميم الآثار المعمارية ، ندوة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٤ .

(٣ ) طارق المرى : منهجية إعداد مشروعات الترميم ، ندوة صيانة وترميم المنشآت الأثرية معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ١٩٩٨م ، ص٢ .

(٤) صالح لمعى مصطفى : أسلوب إعداد مشروعات ترميم الآثار ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات التراث المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ١٩٩٣م ، ص١.

(٥) على غالب : دليل مراحل إعداد مشروعات ترميم الآثار المعمارية ، المجلس الأعلى للآثار، ١٩٩١م.

(٦) على غالب مراحل إعداد مشروعات ترميم الآثار المعمارية ، ندوة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ، ٢٠٠٠م ص٦.

عن طريق الرفع التصويرى (التصوير الفوتوغرافى) ويهدف إلى عمل تسجيل بالصور الفوتوغرافية لجميع عناصر المبنى الأثرى (المئذنة).[١]

## الرفع والتسجيل المعماري للمآذن الاثرية

الغرض الأساسي من الرفع المعمارى للوضع الراهن للأثر هو تسجيل حالة كافة عناصر المآذن وتحديد الأضـــرار التى قد توجد فى مكوناتها ويتم ذلك على رسومات رفع تفصيلية كاملة البيانات والقياسات وتشمل المساقط الأفقيـــة والمساقط الرأسية ( الواجهات ) والقطاعات الراسية والتفاصيل المعمارية[٢] ويستخدم فى الرفع والتسجيل المعماري للمباني الأثرية أدوات القياس المتر والقامة والتيودوليت فى تحديد الأبعاد ثم وضعها على شفافات تمهيدا للوصـــول للصورة النهائية لها على هيئة لوحات .

## استخدام الحاسب الآلى فى تسجيل ورفع المباني الاثرية

فى هذه الطريقة يتم التسجيل باستخدام جهاز التيودوليت أو جهاز المحطـــة المتكاملـــة Total Station وذلك برصد نقاط المبنى وتحديدها حسابيا وإدخال هذه القراءات على الحاسب الآلى على برامج (CAD) ونلاحـــظ أنه عند إدخال البيانات للمبنى تكون فى صورة ثلاثية الأبعاد ( 3Dimension) والتى تعطى صورة متكاملـــة مجسمة للمبنى ، ويجب أن نذكر أن عملية التصوير الفوتوغرافي مهمة جداً إذ بواسطتها يتم إدخال بعض الزخارف والأشكال المعقدة عن طريق اللوحات الرقمية Digitizer أو عن طريق الماسحات الضوئية Scanners والتى تسهل عملية إدخال الرسومات للحاسب . [٣]

## الرفع المساحي للمآذن

ويهدف إلى توضيح علاقة الأثر بالوسط المحيط به من طرق ومرافق عامة ومباني [٤] حيث يتم تحديث الخرائـــط القديمة المتاحة بالوضع الراهن وعمل الرفع المساحي اللازم لاستكمال كافة البيانات المساحية الناقصة لتحديد حدود الجوار وحدود منطقة الدراسة ويتم إجراء الرفع المساحي الدقيق للمبنى بواســـطة أجـهزة المحطـــات المتكاملـــة Total station وذلك بالاضافة لأجهزة القياس الأخرى ويتم إدخال كافة البيانات الحسابية على الحاسب الآلي وتوقيعها فى الاتجاهات (X,Y,Z) على برامج CAD وذلك منسبا لاتجاه الشـــمال ولمنســـوب ســـطح البحر[٥]

## ٤ ـ الرصد المساحي وتحديد مدى رأسية واتزان المآذن الاثرية

المقصود بالرصد المساحي هو معرفة إذا ما كانت المئذنة مائلة أو متزنة فى الوضع الراسي وتحديد اتجاه وزاويـــة الميل إن وجد وهناك عدة طرق تستخدم لذلك منها :-

---

(١) علي غالب ومعاذ عبد الله : دليل إعداد مشروعات صيانة وترميم الآثار ، هيئة الآثار المصرية ، ١٩٩١

(٢) على غالب : مرجع سابق ، فبراير ، ٢٠٠٠ م ، ص ٥، ٦

(٣) طارق المرى : مرجع سابق ، ١٩٩٣ م

(٤) على غالب ومعاذ عبد الله : مرجع سابق ، ١٩٩١ م

(٥) طارق المرى : صيانة وترميم المنشآت الأثرية ، طرق إعداد مشروعات الترميم ، معهد التدريب الفنـــى والمـــهنى ،المقـــاولون العرب، فبراير ، ١٩٩٨ م

## ١- الاستنتاج البصري

وهى طريقة تقريبية وتعتمد على رؤية المنشأ من جميع الاتجاهات والنظر بدقة على أحرف المبنى لملاحظة استقامة الحرف من بدايته ( الأرض ) حتى نهايته ( أعلى مستوى رؤية يمكن ملاحظته ) وهذا فى حالة المآذن ذات الميـــل الشديد والملفت ولا يتوقف عليها أى حسابات وتكون فقط بشكل مؤقت لمعرفة حالة المنشأ واقتراح طريقة حســـاب الميل ودراسة الحركة إن وجدت .

## ٢- استخدام ميزان الخيط " خيط الشاغول "

وهذه الطريقة تتم بإسقاط ميزان الخيط إسقاط حر دون أن يؤثر عليه أى عوائق " بروز حوائـــط مثـــلا " ويكـــون الاسقاط من أعلى إلى أسفل ويكون من أعلى مستوى يمكن الوصول إليه عند حرف المئذنة وتكون الزاويـــة بيـــن الخيط وحرف المنشأ هى زاوية الميل وتكون المسافة الأفقية (x) بين حرف المنشأ والخيط هى قيمة التغـــير فـــى الميل بالنسبة للمسافة الرأسية (y) ويمكن حساب زاوية الميل بواسطة المعادلة الآتية

$$Tan\theta = \frac{X}{Y}$$

حيث زاوية الميل θ مجهول .

المسافة الأفقية X معلومة .

المسافة الرأسية Y معلومة .

## (٣) استخدام الأجهزة المساحية

### أ- استخدام جهاز التيودوليت

- تعتمد هذه الطريقة على انطباق المحور الرأسى الخاص بالعدسة الشيئية لتلسكوب جهاز التيودوليت [١] وحـــرف واجهة المئذنة ، فإذا أنطبق المحور الرأسى مع حرف المئذنة فهذا يعنى عدم وجود ميـــل وفـــى حالـــة عـــدم الانطباق فهذا يدل على وجود ميل فى حرف المنشأ وهذا الميل له زاوية واتجاه يمكـــن معرفتـــهما بواســـطة المعادلة السابقة وهى $Tan\theta = \frac{X}{Y}$ وهذه الطريقة تعتبر أدق من السابقة [٢] .

وتستخدم الطريقة الثانية والثالثة " طريقة خيط الشاغول وطريقة جهاز التيودوليت" لمراقبة المئذنة ومعرفـــة مقـــدار التغير فى الميل ويعتمد ذلك على قياس المسافة الأفقية (X) وهى المسافة بين حرف المئذنة والاتجاه الرأسى.

### ب- استخدام جهاز محطة الرصد المتكاملة Total Station فى رصد ميل المـآذن الأثريـة والشروخ .

تعتبر هذه الطريقة أدق وأحدث الطرق التى تستخدم فى رصد الميول والشروخ فى المآذن الأثرية حيث أن جـــهاز محطة الرصد المتكاملة Total Station له إمكانيات عالية ونتائج دقيقة للأرصاد والتوجيه ويعطى نتائج مباشـــرة لإحداثيات النقط المرصودة وتتلخص هذه الطريقة فيما يلى :-

---

(١) محمد رشاد الدين مصطفى : المساحة الطبوغرافية والجيوديسية ، دار الراتب الجامعية ، ١٩٨٤م ، ص٣٧ .

(٢) محمد رشاد الدين مصطفى: المرجع نفسه ، ١٩٨٤م ، ص٣٨.

- يتم وضع علامات ثابتة "عواكس ورقية" على المنشأ فى الأماكن المحددة "حرف المئذنة – شرخ بالمئذنة مثلاً " ثم يتم رصدها من نقطة ثابتة " مسمار صلب مثبت فى الأرض- قضيب من الحديد" يكون معلوم الإحداثيات ولا يمكن تغييره أو احتلال نقطة غيرها لتكون
- فى كل مرة يتم احتلال هذه الأرصاد كلها منسوبة لهذه النقطة .النقطة بالجهاز ويتم رصد العلامات بترتيب ثابت فتحصل على إحداثيات كل علامة وبعد انتهاء رصد العلامات يتم تسجيل الإحداثيات فى جدول يحدد به تاريخ الرصد .
- ثم يتم الرصد مرة ثانية فى تاريخ تالى من نفس النقطة الثابتة ويتم تسجيل إحداثيات العلامات فى نفس الجدول السابق وبنفس الترتيب وذلك لحساب الفروق بين إحداثيات كل علامة على حدة .
- وعن طريق هذه الفروق يمكن معرفة التغير الذى يحدث للمنشأ واتجاهه

حيث لكل علاقة نحصل على $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ وتكون هذه الفروق ناتج رصدتين متتاليتين

حيث $\Delta X$ = التغير فى الاتجاه X.

$\Delta Y$ = التغير فى الاتجاه Y.

$\Delta Z$ = حدوث هبوط فى المئذنة .

## ٥- الفحوص والتحاليل لمواد بناء المآذن الاثرية

يتم إجراء الفحوص والتحاليل لدراسة مواد بناء المآذن الأثرية من أحجار وطوب محروق (آجر) وأخشاب ومونات وذلك باستخدام الطريق التالية :

### (١) التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction

تعتمد هذه الطريقة على انه عند تعرض المادة الصلبة المتبلورة لحزمة أحادية الموجة Monochromatic Wave من الأشعة السينية فإن المسطحات الذرية لهذه المادة تتسبب فى حيود هذه الأشعة الساقطة عن مسارها الأصلى طبقاً لقانون براج Bragg's Law

$$n\lambda = 2d_{hkl} \cdot Sin\theta$$

حيث $\lambda$ = طول موجة الأشعة السينية المستخدمة

$\theta$ = زاوية سقوط أو انعكاس الأشعة

$d_{hkl}$ = المسافة العمودية بين المسطحات الذرية المتوازية

n = عدد صحيح (١،٢،٣،...)

وبمعرفة شدة الانعكاسات Intensity وزاويا الانعكاس "2θ" من نمط حيود الأشعة السينية يمكن تحديد المسافات البينية للمسطحات الذرية (d) والذى يكون مميزاً للمادة المتبلورة التى يتم فحصها ويسمى بصمة المادة Finger Print Of Material وبالرجوع إلى الجداول القياسية وكروت الأشعة السينية ASTM Cards يمكن التعرف على المادة أو المواد المكونة للعينة [١].

(١) عبد الفتاح أحمد الشاذلى : فيزياء الجوامد ، الجزء الأول ، الدار العربية للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولى ، ٢٠٠٣م ، ص٧٠.

### (٢) التحليل بواسطة تفلور الأشعة السينية X-Ray Fluorescence

تستخدم هذه الطريقة فى التحليل الكمى والنصف كمى الدقيق للعناصر المكونة لمواد بناء المآذن الأثرية وكذلك التعرف على العناصر المكونة للأملاح المسببة لتلف هذه المآذن .

**الأساس العلمى للتحليل بهذه الطريقة**

تعتمد هذه الطريقة على إثارة الذرات المكونة للعناصر فتبعث أشعة خاصة أو مميزة لذرة العنصر حيث يتميز كل عنصر بطول موجى خاص به يميزه عن غيره من العناصر وتستخدم هذه الطريقة بدون التقيد بشكل أو حالة المادة نفسها والقانون المستخدم فى هذه الطريقة هو قانون براج ونستطيع التعرف على كل عنصر من عناصر العينة وذلك بمعرفة الطول الموجى له ($\lambda$) وذلك عن طريق التعويض فى قانون براج بدلالة ($d_{hkl}$) لبلورة التحليل المعلومة الطول الموجى وكذلك زاوية الانعكاس للأشعة ($2\theta$)[١]

### (٣) الفحص بواسطة الميكروسكوب الضوئى Optical Microscope

يمكن بهذه الطريقة أخذ عينات من الأخشاب المستخدمة فى المآذن الأثرية وذلك بعمل قطاعات ميكروسكوبية طولية وعرضية فى صورة شرائح تلائم أسلوب الفحص والدراسة حيث يمكن بذلك التعرف على نوعيات الأخشاب المستخدمة فى شرفات المآذن الأثرية وكذلك الأخشاب المستخدمة فى القمم المدببة للمآذن العثمانية .

### (٤) الفحص بواسطة الميكروسوب المستقطب Polarizing Microscope

يستخدم الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope فى دراسة القطاعات الرقيقة Thin Sections للصخور والمعادن للتعرف على مكوناتها المعدنية ونسيجها الدقيق من حيث الشكل وأحجام الحبيبات وعلاقتها بالحبيبات الأخرى وملاحظة التغيرات فى الخواص الضوئية للمعادن مثل تحول المعادن إلى معادن أخرى وكذلك التغيرات فى الخواص الميكانيكية والتلف الميكانيكى للحبيبات المعدنية والتى تنتج من تأثير الأحمال الواقعة عليها وملاحظة وجود الأملاح ومدى تأثيرها على الصخور والمعادن [٢]

### (٥) الفحص بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى الماسح Scanning Electron Microscope [SEM]

يعتبر الميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] من الطرق الحديثة المستخدمة لفحص وتوضيح التفاصيل الدقيقة للأسطح الحجرية للمآذن الأثرية حيث يقوم بعملية تكبير تصل إلى مائة ألف مرة وأكثر وبذلك يتيح لنا دراسة واضحة مكبرة حيث تبدو وكأنها مجسمة فى الأبعاد الثلاثة مما يساعد على تحديد الحبيبات المجهرية الدقيقة جداً

---

(1) Helmi, F.M.: Methodologies And Scientific Investigation Techniques For Study Treatment And Conservation Of Stone Monuments, In: Stone Material In Monuments, Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993,P.135.

(2) Helmi, F.M.: Op. Cit., 1993,P.134.

والتعرف على مكوناتها وأشكالها وكذلك يمكن الاستعانة به في تقييم مواد التقوية المستخدمة لمواد البناء من حيث كفاءتها فى عمليات التقوية (١) .

## (٦) التحليل بواسطة الامتصاص الذرى Atomic Absorption

تعتبر طريقة الامتصاص الذرى Atomic Absorption من أدق طرق التحليل وأكثرها حساسية وهى تفيد فى التعرف على العناصر المكونة للمادة سواء كانت متبلورة أو غير متبلورة (٢) وكذلك إجراء تحليل كمى دقيق حيث يمكن تحليل أكثر من ٣٠ عنصر بالعينة وتقدير نسبها أو درجة تركيزها فى المادة حتى جزء من المليون (٣).

## (٧) التحليل بواسطة الأشعة تحت الحمراء Infra Red

يمكن بواسطتها التعرف على المركبات العضوية الموجودة فى الطوب المحروق (الآجر) وكذلك إجراء التحاليل للأخشاب المستخدمة فى بعض المآذن الأثرية سواء فى شرفاتها أو قممها للتعرف على مكوناتها.(٤)

ومن الممكن توظيف طرق الفحص والتحليل السابقة واستخدامها للتعرف على مكونات مواد بناء المآذن الأثرية وكذلك دراسة عوامل التلف المؤثرة عليها مثل التعرف على مكونات الأملاح الموجودة وكذلك دراسة المياه الأرضية .

وبالإضافة لطرق الفحص والتحليل السابقة يتم قياس الخواص الفيزيائية لمواد بناء المآذن الأثرية مثل الكثافة الكلية BulkDenisty والمسامية Porosity وامتصاص الماء Water Absorption وغيرها وكذلك قياس الخواص الميكانيكية مثل قياس قوة تحمل الضغط والشد وتعيين هذه الخواص ذو أهمية كبيرة للتعرف على حالتها واستخدام النتائج أيضا والاستعانة بها خلال الدراسة الإنشائية .

## ٦ ـ دراسات التربة والأساسات

يتم إجراء العديد من الدراسات على التربة والاساسات الحاملة للمآذن الأثرية ومنها :

- عمل حفر استكشافية للكشف عن الاساسات لتحديد شكل ونوع وأساليب التأسيس الذى أقيمت عليه المئذنة.
- عمل الجسات فى التربة باستخدام الأوجر أو القاسون اليدوى أو باستخدام آلات الميكانيكية للحصول على أعماق أكبر وذلك لتحديد نوع وتتابع طبقات التربة .
- يتم تركيب بيزومترات بجوار الجسات لقياس مناسيب المياه الأرضية فى موقع الأثر ورصد التغير فى هذه المناسيب خلال الفترات المختلفة .

ويتم كذلك قياس ما يلى لعينات التربة :

- إيجاد التدرج الحبيبى للتربة – تعيين حدود للقوام للتربة وتشمل
- تعين حد السيولة – تعيين حد السيولة – تعيين حد الانكماش

---

(1) Fatma, M. Helmi: The Role Of Recent Techniques And Materials In Restoration And Conservation Of Monuments , Training Institute, Arab Cont. CO. ,1998,P.8.

(2) Helmi, F.M.: OP. Cit., 1993,P.136.

(3) Fatma, M. Helmi :OP. Cit., 1998,P.5.

(4) Helmi, F.M. :Op. Cit., 1993,P.137.

ثم يتم إجراء تحليل كيميائى للمياه الأرضية لتحديد مكوناتها من أيونات الأملاح ويتم إجراء هذه الدراسات للتربة والأساسات لمعرفة مدى حاجة الأساسات إلى التقوية أو التدعيم فى حالة ضعفها وكذلك معالجة التربة فى حالة تلفها حتى لا تتعرض المآذن الأثرية المقامة فوقها لخطر الانهيار .

## ٧ - التحليل الإنشائى للمآذن الاثرية باستخدام النماذج الرقمية للحساب الآلى

يعتبر التحليل الإنشائى من العلوم الهندسية والذى نستطيع بواسطته دراسة إتزان المنشآت الثابتة تحت حالات مختلفة من تأثير الأحمال من خلال صياغة معادلات الاتزان لها ثم حل هذه المعادلات تحت تأثير الأحمال المختلفة ثم تفسير النتائج لمعرفة مدى اتزان هذه المنشآت[١]

وقد تطورت عملية التحليل الإنشائى وأصبحت تجرى بواسطة الحاسب الآلى ومن الطرق المستخدمة طريقة العناصر المحددة (F.E.M) Finite Element Method

### طريقة العناصر المحددة Finite Element Method (F.E.M)

طريقة العناصر المحددة هى عبارة عن نظام عددى يتم عملة بواسطة الحاسب الآلى وتستخدم لحل المعادلات المختلفة للمشكلات المتنوعة فى العلوم الهندسية والفيزيائية [٢]

ومن الممكن أن تطبق طريقة العناصر المحددة (F.E.M) لجميع أنواع المنشآت الهندسية ، سواء فى اتجاه واحد One Dimensional Components وذلك بالنسبة للمنشآت الهيكلية Skeletal Structures أو فى اتجاهين Two Dimension وذلك بالنسبة للمسطحات Plates أو الأشكال القشرية Shells أو فى الاتجاهات الثلاثة Three Dimensions وعلى سبيل المثال الأساسات Founda tion والمبانى المصمتة (الكتلية) Masonry Blocks ، وتساعدنا هذه الطريقة العددية فى الحصول على حل تقريبى ولكن صحيح لعدد من النقط المحددة فى المنشأ حيث نقوم فى هذه الطريقة بتقسيم المنشأ إلى أجسام أو وحدات صغيرة ومتساوية تمثل المنشأ الأصلى [٣] ، وبدلاً من التحليل الإنشائى للمنشأ بالكامل فى مرحلة واحدة فإن الحلول تصاغ لكل وحدة أو عنصر على حدة ثم يتم تجميعها معاً للحصول على كل الحلول الممكنة للتحليل الإنشائى تحت تأثير الأحمال المختلفة .

### التحليل الإنشائى للمآذن الأثرية باستخدام طريقة العناصر المحددة (F. E.M)

لإجراء التحليل الإنشائى للمآذن باستخدام طريقة العناصر المحددة (F.E.M) يتم عمل نموذج Model يمثل المئذنة التى يجرى لها التحليل الإنشائى وذلك بواسطة تقسيم المئذنة إلى أجسام أو وحدات صغيرة متساوية تتناسب مع النظام الإنشائى للمئذنة ومن الوحدات أو العناصر التى تستخدم العناصر الصلبة المصمته Solid Finite Blocks والتى تستخدم مثلاً لتمثيل قواعد المآذن ، أما المستويات العليا المآذن فستخدم فيها العناصر القشرية

---

(1) Abd El-Aty, Y.Y.A.: Structural Analysis Of Historical Masonary Islamic Buildings Using Computer Numerical Modeling Techniques With An Application On Prince Sarghatmash School In Cairo, Master, Conservation Departement, Faculty Of Archaeology, Cairo, Uni., 1999.

(2) Hozayen, S.: Introduction To Finite Element Method, Diploma Lectures Notes, Structural Dep. Faculty Of Engineering, Cairo Uni., P.1.

(3) Desai, C. S. And Abel, J.F.: Introduction Of The Finite Element Method, A numerical Method For Engineering Analysis, Van Nostr And Reinhold Ltd., USA, 1972,Pp.3-4.

Shell Elements أما الأعمدة الرخامية التى تحمل الجوسق Pavilion فيتم تمثيلها بواسطة عناصر كمرية ومن خلال استخدام هذه العناصر يمكننا بناء النموذج الملائم لإجراء التحليل الإنشائى للمئذنة التى يتم دراستها تحت تأثير الأحمال المختلفة حيث يتم الحل تحت تأثير الأحمال الرأسية والتى تشمل الأحمال الدائمة والحية ثم يتم الحل مرة أخرى تحت تأثير الأحمال الأفقية المتمثلة فى أحمال الرياح أو الزلازل لمعرفة مدى اتزان جسم المئذنة وعناصرها المعمارية المختلفة والتأكد من عدم تعدى الحدود المسموح بها من الإجهادات ثم يتم دراسة الحلول المقترحة للعلاج ثم يتم إعداد أعمال الترميم الإنشائى للمئذنة إذا دعت الضرورة وحالة المئذنة لذلك ثم عمل اللوحات التفصيلية والتنفيذية ، وقد قام (Sherif) [١] بعمل نموذجين لمئذنتين هما مئذنة منجك اليوسفى كمثال لطراز المآذن فى العصر المملوكى ، ومئذنة المسجد الحسينى كمثال لطراز المآذن فى العصر العثمانى ، شكل رقم (٢٣) وذلك لدراسة تأثير الزلازل المتلف على المآذن الأثرية وذلك كما يلى :-

### (١) مئذنة منجك اليوسفى

يبلغ ارتفاع هذه المئذنة ٢٦ متر وتم عمل نموذج رياضى رقمى باستخدام عناصر محددة صلبة مصمته ذات ثمان نقاط اتصال لتمثيل القاعدة وجسم المئذنة بينما تم استخدام عناصر قشرية لتمثيل قمة المئذنة وهى على شكل المبخرة والارتباط بين هذه العناصر تم عملة عن طريق عناصر كمرية تمثل الأعمدة الحاملة للمبخرة شكل رقم (٢٤).

### (٢) مئذنة الجامع الحسينى

يبلغ ارتفاع هذه المئذنة ٥٨ متر وتم استخدام عناصر قشرية لتمثيل جسم المئذنة والقاعدة وذلك لأن جسم المئذنة رفيع نسبيا بالنسبة لارتفاعها كما تم عمل نموذجين مبسطين لنفس المئذنتين باستخدام عناصر كمرية لتمثيل المئذنة بالكامل للحصول على حل إنشائى تقريبى ومقارنة النموذجين المبسطين بنتائج النموذجين المجسمين فى الأبعاد الثلاثة شكل رقم (٢٤) .

## ثانيا : عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية

تشمل عمليات العلاج والترميم والصيانة للمآذن الأثرية العديد من العمليات منها خفض منسوب المياه الأرضية والترميم والتدعيم الانشائى والترميم المعمارى والترميم الدقيق وذلك كما يلى

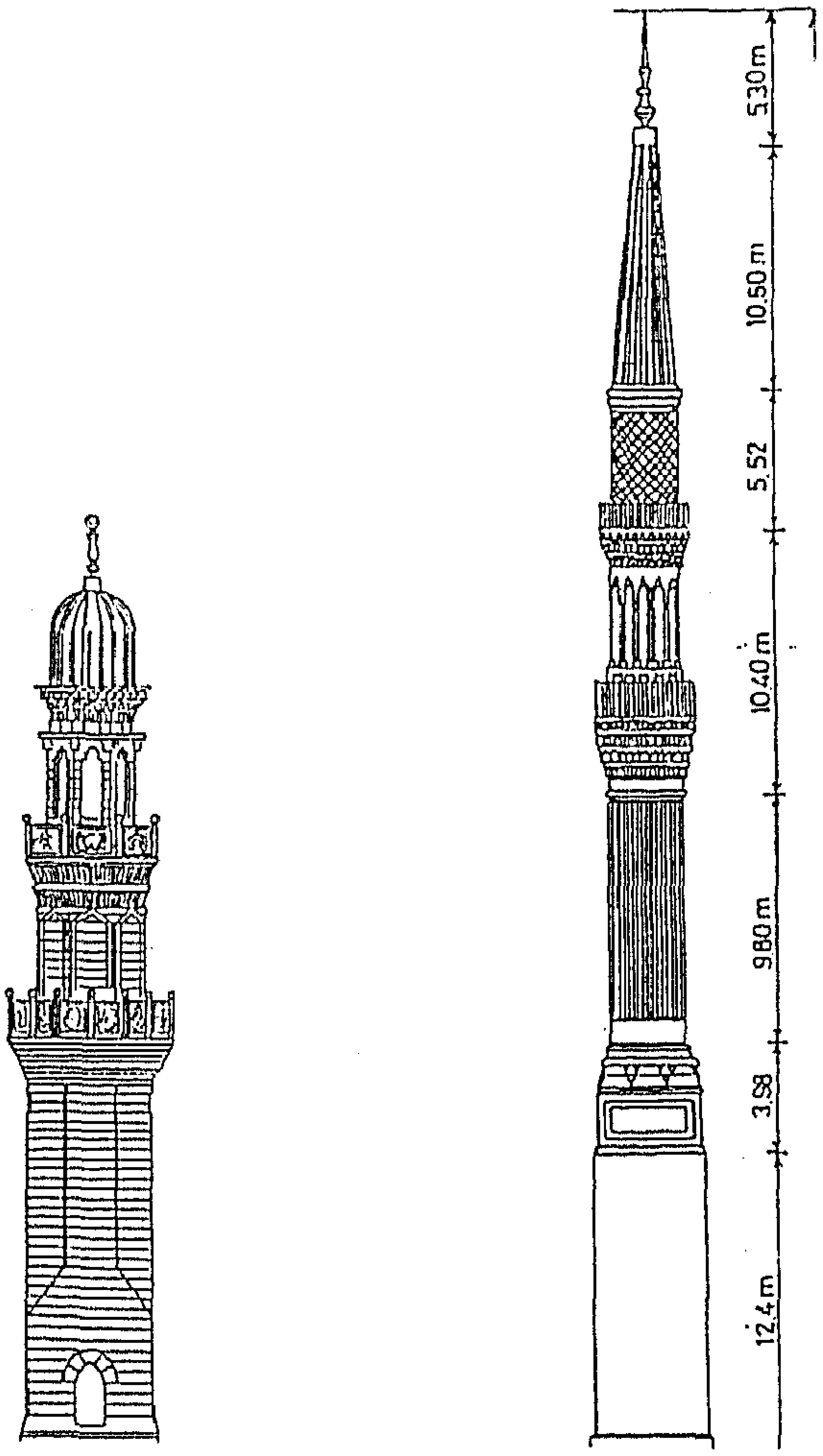
### ١ - خفض منسوب المياه الأرضية

إن تذبذب منسوب المياه الأرضية إلى أعلى وأسفل الاساسات قد يؤدى إلى تخلخل التربة أسفلها وحدوث هبوط لم يكن مأخوذا فى الاعتبار ومن هنا فإن التربة ذات الطبيعة الضعيفة قد تتغير خواصها وسلوكها بتغير محتوى الرطوبة ومن هذه الأنواع من التربة على سبيل المثال التربة القابلة للانهيار والتربة القابلة للإنتفاش[٢]. ويتم رصد منسوب المياه الأرضية من خلال شبكة من البيزومترات التى توضع على أعماق مختلفة لرصد حركة المياه فى الطبقات الطينية السطحية من جهة وكذلك حركة المياه الجوفية فى الطبقات الرملية ذات العمق الأكبر من جهة

---

(1) Sherif, A. Mourad And Ashraf, M.: Seismic Risk Appraisal For Islamic Minarets, Facu. Of Eng., Stru. Eng. Department, Cairo Uni., 1994,P.9.

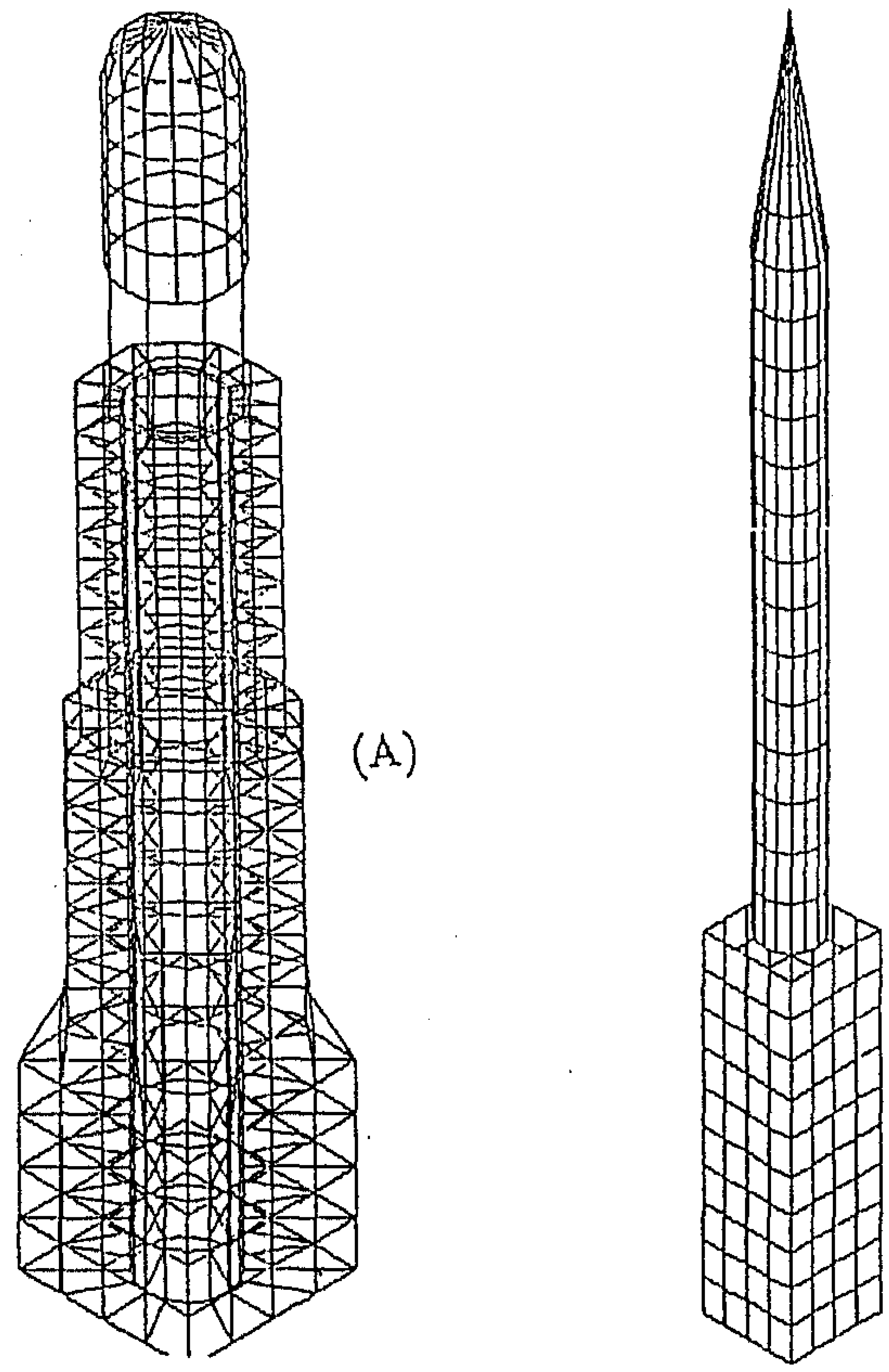
(٢) منير محمد كمال : أشكال العيوب بالمبانى الأثرية وأسبابها ، دورة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٧.




شكل رقم ( ٢٣ )

يوضح مئذنتا الجامع الحسيني ، ومنجك اليوسفي

(After Sherif A. Mourad, 1994)




شكل رقم ( ٢٤ )

يوضح النموذجين الرياضيين لمئذنتي

الجامع الحسينى ، ومنجك اليوسفى

(After Sherif A. Mourad, 1994)

أخرى حيث تتأثر المياه الأرضية فى الطبقات العليا بمدى التسرب من شبكات الصرف الصحى بمنسوب المياه فى مجرى النيل وينبغى أن يصاحب ذلك عمل دراسات وأبحاث للتربة قبل البدء فى تنفيذ أى شبكة خفض لمنسوب المياه وذلك بعمل الجسات ودراسة التتابع الطبقى للتربة ونوعية المياه الموجودة (١) ، كما أن عملية نزح المياه الأرضية الناتجة من ارتفاع منسوب المياه الجوفية أو المتسربة من شبكات المياه والصرف الصحى تستلزم الأخذ فى الاعتبار معدلات وأساليب النزح حتى لا تسبب خلخلة التربة مثلما حدث مثلا مع مئذنة قانيباى الرماح بمنطقة الناصرية بالسيدة زينب والتى سقطت بفعل حدوث خلخلة بالتربة نتيجة لخفض منسوب المياه بأسلوب خاطئ ، وجدير بالذكر أن تغيير نظام الصرف الصحى من استخدام بيارات إلى استخدام شبكة عمومية مع الاحتفاظ بالبيارات دون ردمها بالأسلوب السليم يؤثر سلبا على المبانى الأثرية المجاورة لها (٢)

## ٢ - الترميم والتدعيم الإنشائى للمآذن الأثرية

تعتمد عمليات الترميم والتدعيم الإنشائى Structure Restoration للمآذن الأثرية على الدراسات الإنشائية المتكاملة للمآذن الأثرية حيث يتم عمل خطة الترميم والتدعيم الإنشائى طبقا للنتائج التى يتم الحصول عليها من الدراسات الإنشائية وتشمل عمليات الترميم والتدعيم الإنشائى معالجة التربة وتدعيم وتقوية الأساسات وكذلك عمليات الفك الجزئى أو الكلى فى حالة الضعف الشديد لبعض أجزائها أو ميلها بمقدار كبير وفيما يلى عرض لبعض الحلول الإنشائية التى يتم عملها لتقوية وتدعيم المئذنة .

(١) فى حالة وجود المئذنة مدمجة ضمن عناصر المنشأ الأثرى وغير منفصلة عنه قد تحدث شروخ فى الجدران أو نقاط الاتصال بين بدن المئذنة والمنشأ الأثرى وفى هذه الحالة يتم ملء هذه الشروخ أو الشقوق والفجوات بالمونات المناسبة ( مثل مونة الجير والرمل المخلوطة بالراتنجات الصناعية المناسبة مثل الايبوكسيات ) (٣)

(٢) فى حالة وجود شروخ خطيرة فى بدن المئذنة يتم تخريم وربط الأجزاء التى بها شروخ خطيرة بواسطة الأحزمة المعدنية (Tie Bars) أو الكابلات Cables المصنوعة من الحديد الصلب غير القابل للصدأ والذى يتميز بمرونته المناسبة (٤)

(٣) استبدال بعض كتل الأحجار التالفة أو إعادة بناء بعض الأجزاء المنهارة أو المفقودة وهذا يعتبر ترميم معمارى ولكن له وظيفة إنشائية هى تدعيم وتقوية المئذنة .

(٤) يمكن تدعيم الأجزاء التى حدث بها ميل باستخدام الروابط أو القضبان الحديدية الرأسية Vertical Steel Bars وذلك فى حالة ما إذا أثبت التحليل الإنشائى للمآذن الأثرية باستخدام النماذج الرياضية Mathematical Models أن المآذن تحتاج إلى تدعيم كلى بسبب ضعفها إنشائيا ويتم وضع هذه الروابط المعدنية بواسطة

---

(١) عزت عبد الشافى : نحو صيانة بيئية متكاملة للآثار الإسلامية ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات التراث المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى بالمقاولون العرب ، ١٩٩٣م ،ص٦.

(٢) منير محمد كمال : مرجع سابق ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٧.

(3) Aboud, F.B.: Structural Consideration In The Restoration Of Islamic Monuments In Cairo, In: The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May, 1993,P.4.

(4) Croci, G.: Damages And Restoration Of Monuments In Cairo, In : III International Symposium Of The Conservation Of Monuments In The Mediterranean, Basin, Venice, 1994,P.27.

عمل ثقوب راسية فى أطراف درجات السلالم الداخلية الخاصة بالمئذنة SmallDril Holes ويتم تثبيتها بحذر وحرص باستخدام المونات المناسبة المخلوطة بالراتنجات الصناعية المناسبة (١).

(٥) يمكن تدعيم منطقة الجوسق التى تعرضت أعمدتها إلى شروخ خطيرة وتلف مستمر طبقا للحركة الأفقية أو إزاحة الالتواء Twisting والتى تحدث تحت تأثير حركة الزلازل Seismic Action وفى هذه الحالة يمكن تدعيم وتقوية هذه الأعمدة إنشائيا عن طريق تصميم أحزمة أو روابط معدنية منحنية لتلائم استدارة الأعمدة Inclined Cables أو معاطف من الصلب الذى لا يصدأ Stainless Steel Jackets لكى تحسن من قوة تحمل الأعمدة وثباتها الرأسى (٢)

(٦) فى حالة وجود ميل بالمآذن الأثرية من الممكن إنشائيا عمل رد لهذا الميل عن طريق تحميل الأساسات عكس اتجاه الميل ببطء شديد طبقا لنظام محدد يلائم حالة المئذنة وفى حالة فشل محاولة رد الميل لن يحدث ذلك ضررا للمئذنة بل يمكن أن يكون له تأثير إيجابى فى إيقاف استمرار (٣) الهبوط للمئذنة جهة الميل .

(٧) من الحلول الإنشائية الأخرى فك المئذنة وإعادة بناءها مرة أخرى سواء لبعض أجزاء المئذنة أو فكها بشكل كامل وهذا الحل من الحلول الإنشائية الصعبة حيث يجب إتباع الدقة المتناهية فى عمليات الفك وطبقا لنظام علمى سليم حتى نضمن عدم الإضرار بالمئذنة وإعادتها إلى حالتها الأصلية السليمة قبل الفك ويتم تنفيذ هذا الحل الإنشائى فى حالة الميل الشديد للمئذنة وعدم اتزانها مما قد ينشأ عنه انهيارها وكذلك تجاوز الإجهادات الواقعة عليها للإجهادات المأمونة إنشائيا بالإضافة إلى فقدان إرتكاز المئذنة على التربة الحاملة لها فى الجهة عكس الميل الشديد لحدوث إجهادات شد على الأساسات وبذلك نجد أن من الأسباب الجوهرية لفك المآذن هو ميلها الشديد وكذلك فى حالة استمرار المئذنة فى الحركة وبالتالى زيادة الميل وعدم استقرارها وأيضا إذا أثبتت الدراسة والتحليل الإنشائى باستخدام النماذج الرياضية عدم اتزان المئذنة تحت تأثير وزنها أو تحت تأثير زلزال متوسط الشدة طبقا للكود المصرى لأحمال الزلازل.

## الحالة الإنشائية لمئذنة أيدمر البهلوان

ومن الأمثلة على المآذن الأثرية التى تتطلب حالتها إجراء عملية فك لها ولم يتم تنفيذه حتى الآن وهى مئذنة أيدمر البهلوان وذلك للأسباب الآتية :-

### ١- المئذنة مائلة ومستمرة فى الحركة وزيادة الميل

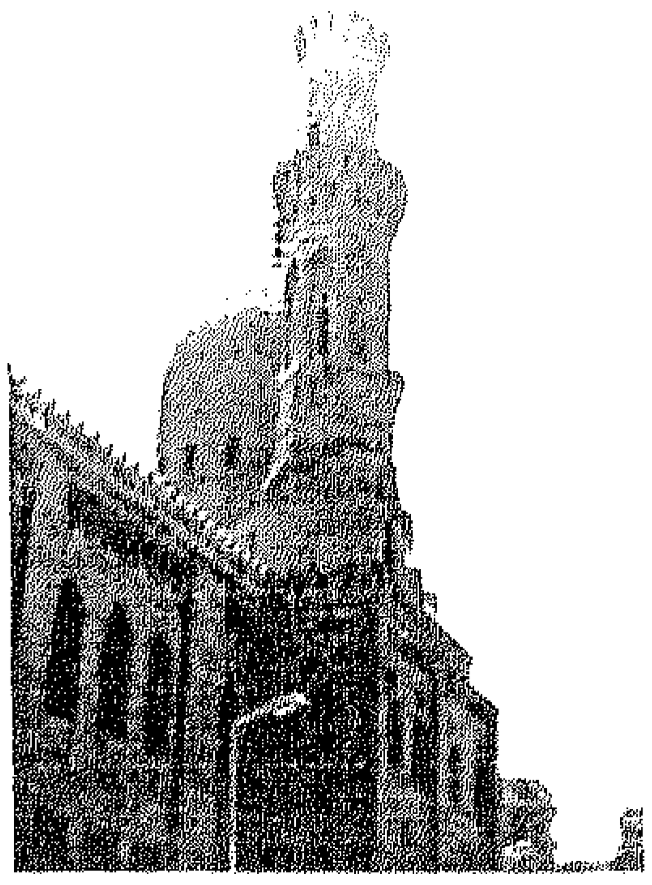
طبقا لرصد مساحى أجرى لمئذنة أيدمر البهلوان صورة رقم (١٣) فى فترة سابقة وجد أن ميل المئذنة هو ٨١سم بكامل ارتفاعها البالغ ٢٤ مترا أى بمتوسط يبلغ ٣,٥% وتم إجراء عملية رصد أخرى لميل المئذنة فى سبتمبر ١٩٩٩م بمتوسط ٣,٧٨٢ % وبإعادة الرصد بتاريخ أغسطس ٢٠٠٠م كان ميل المئذنة بمتوسط ٣,٩٨١% كما بلغ أقصى ميل للمئذنة ٦,٠١٥ % بالمستوى الأول للمئذنة ومما سبق نستنتج أن المئذنة غير مستقرة ونظريا فإن زيادة انحراف المئذنة تحت تأثير وزنها وانحراف مركز الثقل يؤدى إلى زيادة فى الإجهادات على التربة جهة الميل مما

---

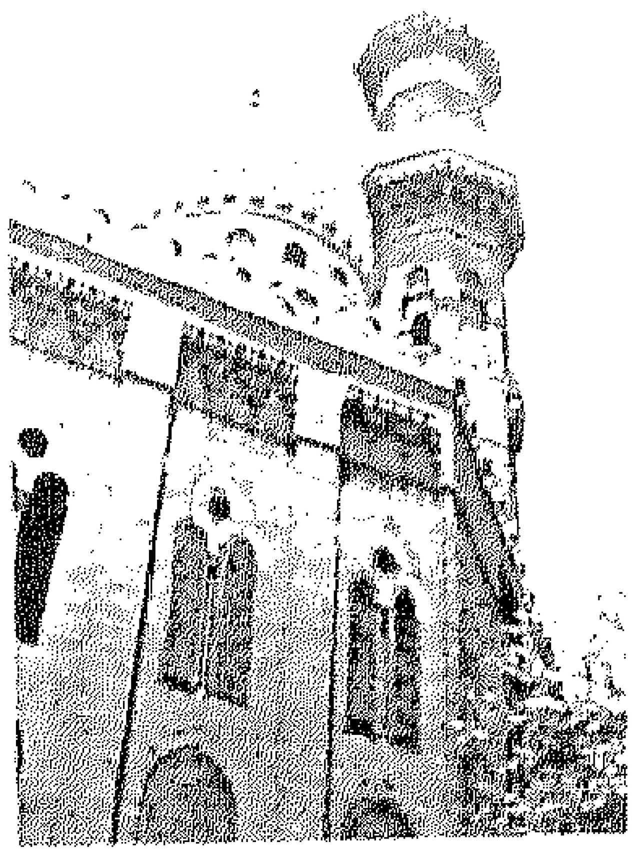
( 1) Croci, G.: OP. Cit., 1994,P.428.

( 2) Aboud, F.B. :Op. Cit., 1993,P.4.

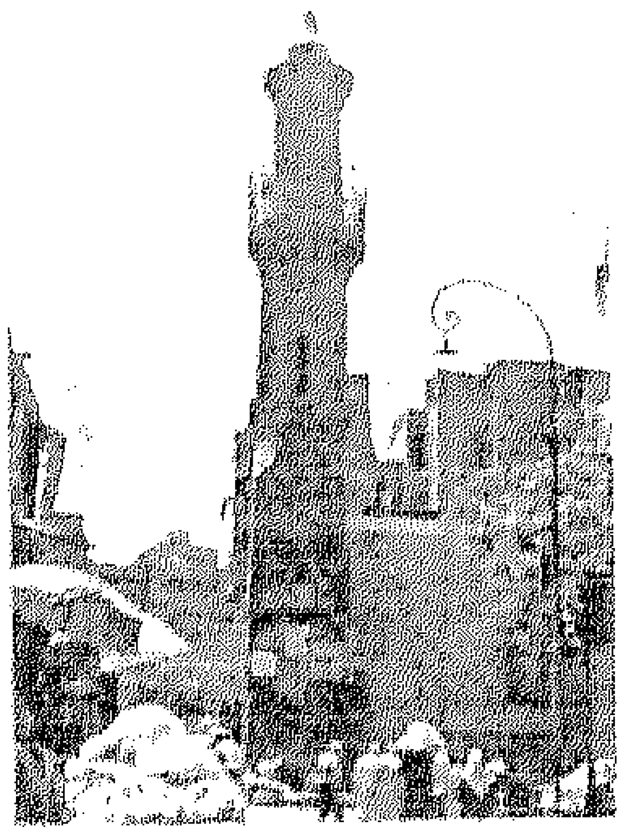
(٣) المجلس الأعلى للآثار : تقرير عن الحالة الإنشائية لمئذنة أيدمر البهلوان ، مشروع تطوير القاهرة التاريخية ، أغسطس ٢٠٠٠م ، ص٤.



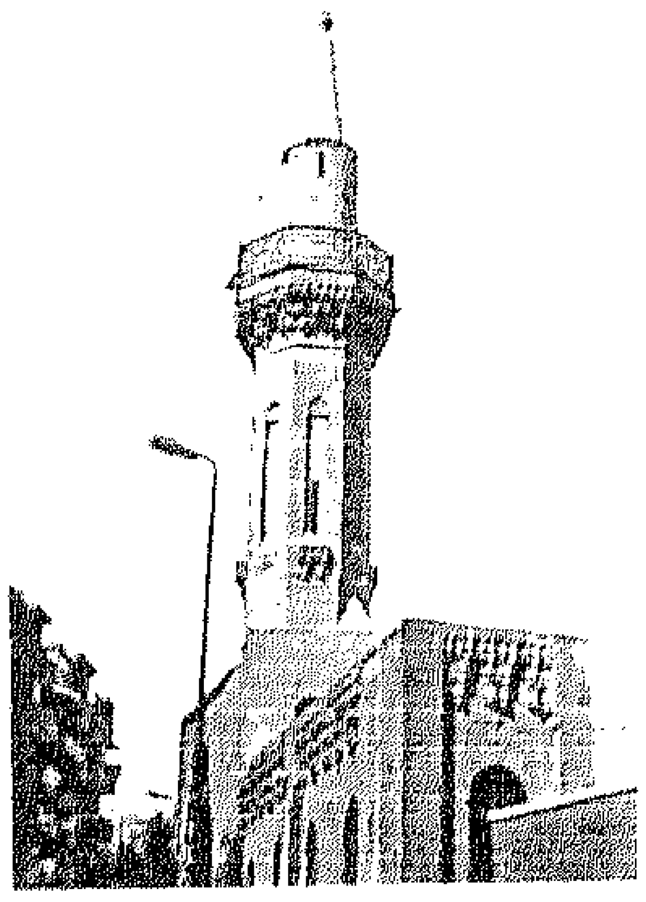
صورة رقم ( ٧ )
مئذنة خاير بك



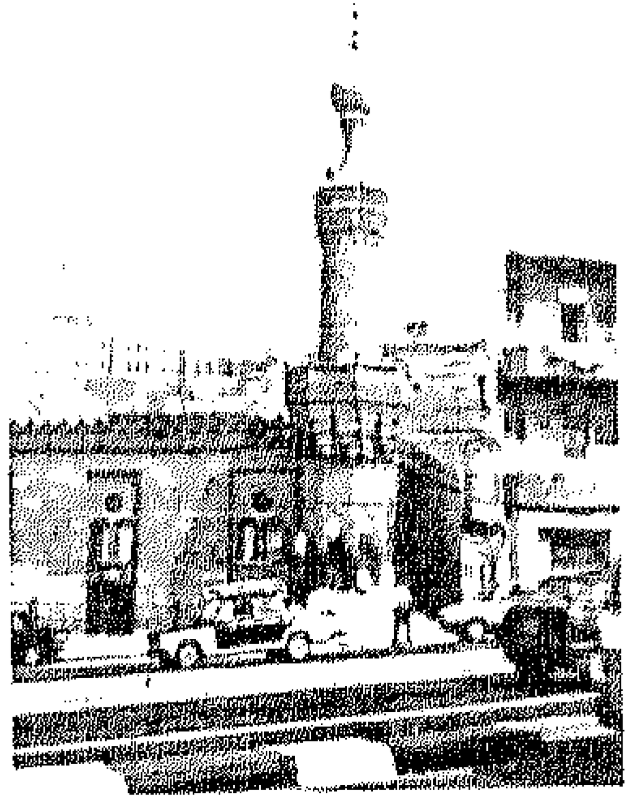
صورة رقم ( ٨ )
مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان



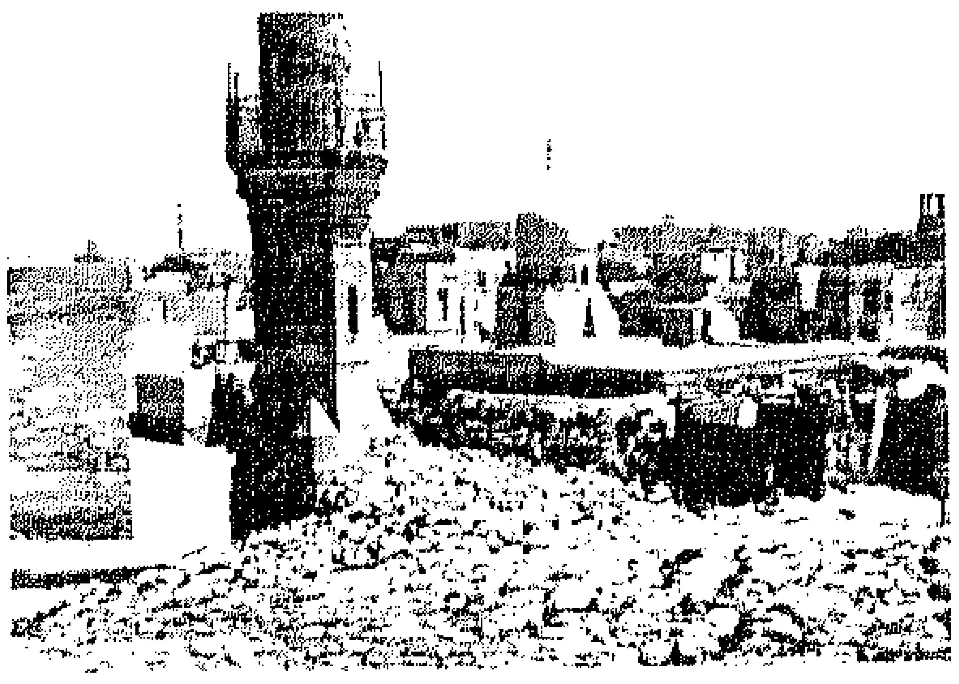
صورة رقم ( ٩ )
مئذنة الجامع الإسماعيلي



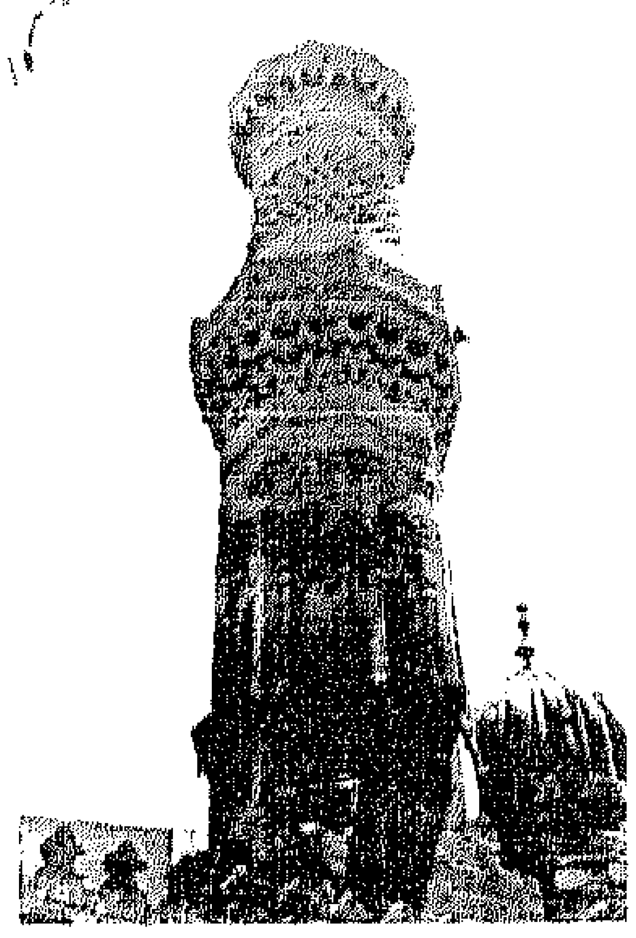
صورة رقم ( ١٠ )
مئذنة مسجد لاجين السيفي



صورة رقم ( ١١ )
مئذنة مسجد الغوري بعرب اليسار



صورة رقم ( ١٢ )
توضح التعديات علي مئذنة يشبك من مهدي



صورة رقم ( ١٣ )
مئذنة جامع أيدمر البهلوان

(تصوير الباحث)

يسبب زيادة فى الهبوط جهة الميل يترتب عليها زيادة فى الميل والزيادة فى الميل تؤدى لزيادة فى الإجهادات [١] على التربة جهة الميل وهكذا تستمر زيادة الميل بزيادة الهبوط فى التربة مما يوجب معه عملية الفك لها وتبين من إعادة المعاينة للمئذنة حدوث التواء بين الحطة الثانية والحطة الثالثة مع فتح شرخ فى المقرنصات اسفل الشرفة الأولى وتحرك الشرخ (زيادته) ولذلك فإنه لا جدوى مثلا من عمل رد لميل المئذنة مع وجود التواء ببدن المئذنة .

## ٢- عدم اتزان المئذنة تحت تأثير وزنها فقط ومتوقع انهيارها

تم دراسة الاتزان الإنشائى للمئذنة تحت تأثير وزن المئذنة فقط مع أخذ انحراف المئذنة فى الاعتبار وكانت النتائج كالتالى :-

أ- تعرض حائط المئذنة عكس اتجاه الميل للشد بكامل قطاعه وبلغت إجهادات الشد ١٠ كجم/ سم٢ على المونة بين الأحجار فى حين أن الإجهادات للشد المسموح بها طبقا للكود المصرى لا تتعدى ٦و كجم / سم٢ ولذلك فقد تجاوزت إجهادات الشد أضعاف القيمة المسموح بها وهذا يؤكد خطورة وضع المئذنة الحالى حيث أن أى حركة ترددية مع الزلازل أو بفعل هبوط التربة قد تؤدى لانهيار المئذنة .

ب- أوضحت النتائج أنه تحت تأثير وزن المئذنة فقط وفى وجود الميل الحالى فإن الزيادة المبدئية المتوقعة فى الانحراف بفعل.زيادة الإجهادات على التربة جهة الميل مقدارها ٩,٥سم بما يشكل زيادة لانحراف المئذنة بمقدار ٠,٦٧٨ % ومع زيادة الانحراف يزداد الميل مما يؤدى على سلامة المئذنة .

## ٣- المئذنة غير متزنة تحت تأثير زلزال متوسط الشدة

بدراسة تأثير قوى استاتيكية مكافئة لزلزال متوسط الشدة طبقا للكود المصرى للزلازل كانت النتائج كالتالى:- بلغ الانحراف الكلى ١٠١,٤١ سم ووصلت [٢] اجهادات الشد إلى ١٦ كجم / سم٢ وهو ما يعنى أن المئذنة قد تتعرض للسقوط والانهيار بفعل الحركة الناشئة أثناء الزلازل وهذا أيضا ما يحتم ضرورة فك المئذنة وإعادة بناءها مرة أخرى * [٣]

## ( أ ) علاج التربة ذات المشاكل المقام عليها المآذن الأثرية

فى حالة وجود مشاكل فى التربة المشيدة عليها المآذن الأثرية لابد من إجراء عمليات علاج لها وتقسم التربة ذات المشاكل إلى تربة قابلة للانهيار وتربة قابلة للإنتفاش والتربة الطينية اللينة وتربة الردم وفيما يلى سنتناول طرق معالجة الأنواع المختلفة من التربة ذات المشاكل .

---

(١)المجلس الأعلى للآثار : المرجع نفسه ، أغسطس ٢٠٠٠م ، ص٢.

(٢) المجلس الأعلى للآثار : تقرير عن الحالة الإنشائية لمئذنة مسجد أيدمر البهلوان ، مشروع تطوير القاهرة التاريخية ، أغسطس ٢٠٠٠م ، ص٢-٣ .

* تم فك المئذنة الآن وتخزينها حيث سيتم إعادة بنائها مرة أخرى بشكل رأسى متزن

(٣) المجلس الأعلى للآثار : المرجع نفسه ، أغسطس ٢٠٠٠م ، ص٣.

## (ا) معالجة التربة القابلة للانهيار

### أ- الإزالة والردم والدمك

هناك طرق عديدة لمعاجلة التربة القابلة للانهيار منها : الإزالة لطبقات التربة القابلة للانهيار ثم القيام بـــردم هـــذه الطبقات مرة أخرى وذلك حتى عمق معين وتردم على هيئة طبقات وتدمك كل طبقة عند نسبة الرطوبة المثلـــى [١] ويعرف الدمك بأنه انضغاط لحجم التربة غير المشبعة نتيجة انضغاط الفراغات الهوائية [٢]

### ب- التكثيف بالهرس السطحي Densification By Surface Rolling

يتم إما باستخدام هراسات الصدم أو بالهراسات الاهتزازية وهراسات الصدم تحقق نتائج جيدة مع بعض أنواع التربة الرملية القابلة للانهيار ولا تحقق نتائج جيدة مع الأنواع الأخرى[٣] ولذلك يجب دراسة ظروف الموقع جيـــداً قبـــل استخدام طريقة هراسات الصدم [٤] مع أخذ بعض العوامل فى الاعتبار منها أنه يجب أن تكون التربة بالقرب مـــن سطح الأرض ذات مقاومة قص عالية لمقاومة انهيار التربة تحت تأثير عجل الهرس وقد تعطى هذه الطريقة نتـــائج جيدة بإزالة التربة القابلة للانهيار إلى العمق المطلوب[٥] ثم دمك هذه التربة فى صورة طبقات بسمك لا يزيد عـــن ٣٠سم ولا يفضل استخدام هذه الطريقة لما تحدثه من إجهاد للمنشأ الأثرى[٦]

### جـ- استبدال التربة Soil Replacement

فى حالة ما إذا لم تعط أى من الطريقتين السابقتين نتائج جيدة ، ينصح باستبدال التربة القابلة للانهيار ويتوقف عمـق الطبقات التى سيتم إزالتها على درجة الانهيار المتوقع حدوثه عند حمل التشغيل وعلى درجة تضاغط باقى التربـــة اسفل الجزء المستبدل وتستبدل الطبقات السطحية برمل سيليسى جيد التدرج وهذه الطريقة مكلفة نسبياً نظراً لأنـــها تشتمل على تكاليف الحفر و إزالة التربة الطبيعية ونقلها ثم الإحلال والدمك ، ويجب أن يتم الدمك على هيئة طبقات لنحصل على جهد تحمل التربة المطلوبة [٧]

### د- تثبيت التربة Soil Stabilization

يتم تثبيت التربة القابلة للانهيار باستخدام مواد مثبته تعمل على تقوية الروابط بين حبيبات التربة أو ملء الفراغـــات بينها [٨] وهذه المواد غير متوفرة بشكل كبير فى مصر وهذه الطريقة تعتبر مكلفة نسبياً مقارنة بـــالطرق الأخـــرى وهذا المجال من المجالات مفتوحة للبحث والتطبيق فى المستقبل القريب [٩].

---

(١) السيد عبد الفتاح القصبى : ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٣م ، ص٦٧٥.
(٢) عمرو رضوان : المبادئ العلمية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، ١٩٩٤م،ص٧٣ .
(٣) عبد اللطيف أبو العطا البقرى : الإنشاءات والانهيار ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٤م ، ص٦٥ .
(4) Jumikis, A.R.: Soil Mechanics, Van Nostrand Co. INC, Princeton, New Jersey, U.S.A., 1962,P.68.
(5) Bowles, J.E.: Engineering Properties Of Soil, MC Graw- Hill, New York, 1986, P.52.
(٦ ) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م، ص٦٨٣.
(٧) عبد اللطيف أبو العطا البقرى : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ،ص٦٦ .
(٨) عبد اللطيف أبو العطا البقرى: المرجع نفسه ، ١٩٩٤م ، ص٦٦.
(٩) مصطفى كمال عاشور : حقن التربة بالأنابيب ، دار النشر للجامعات ، مصر ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٩م ، ص ١٥ .

## ٢) معالجة التربة القابلة للانتفاش Treatment Of Expansive Soil

تتلخص حماية المآذن الأثرية من أضرار التربة القابلة للانتفاش فى ثلاثة أساليب هى :-

### أ- استبدال التربة القابلة للانتفاش تحت الأساسات

حيث يتم استبدال التربة القابلة للانتفاش بسمك يتراوح عادة من ٠,٥ إلى ٢,٥ متر اسفل الأساسات ، حسب درجة قابلية التربة للانتفاش وسمك طبقتها [١] وبذلك يتم عزل المآذن الأثرية وحجبها عن تأثير الإجهادات Stresses الناتجة عن تمدد وانكماش Swelling And Shrinking التربة المحيطة ويتم ذلك بالإحلال Replacement سواء الكلى أو الجزئى للتربة حيث يتم استبدال هذه التربة بتربة أخرى غير تمدديةN on Expansive Fill [٢] وعادة ما تكون التربة المستخدمة تتراوح من تربة زلطيه إلى تربة رملية والتربة المتوسطة الانتفاش يبلغ عمق الاستبدال لها حوالى واحد متر ويجب ألا يقل عن ٠,٥ متر بأى حال من الأحوال [٣]

### ب- تغيير طبيعة التربة القابلة للانتفاش بالتحكم فى الدمك أو التحكم فى المياه أو بالتثبيت بالكيماويات

يصعب تغيير التربة الحاملة للمآذن الأثرية بالتحكم فى الدمك باستخدام الهراسات لما تحدثه من حركة واهتزازات للتربة والمئذنة المقامة عليها مما قد يؤدى إلى حدوث أضرار إنشائية بها ولكن يمكن استخدام الدمك اليدوى بالأدوات البسيطة إن كان مجدياً [٤] حيث يؤدى دمكها إلى تقليل قدرتها على إمرار الماء نفاذيته Permeability وبالتالى تقليل تمددها المتوقع ومن الطرق الحديثة المستخدمة أيضاً تسخين التربة حيث وجد أن رفع درجة حرارة التربة الانتفاخية حتى مائتى درجة مئوية يقلل من قابليتها للتمدد والإنكماش ويعيب هذه الطريقة ارتفاع تكلفتها لدرجة لا تبرر استعمالها [٥] كما يمكن إقامة حواجز للرطوبة وتعتمد هذه التقنية على عدم تعريض التربة الانتفاخية إلى تغيير المحتوى الرطوبى ويتم بعدة أساليب منها عمل حواجز رطوبة رأسية Moisture Barriers بعمق حوالى ١,٥ متر حول المحيط الخارجى للمئذنة وتعوق هذه الحواجز الراسية مسار المياه المتجهة إلى المئذنة ويتم إنشائها باستخدام أغشية من البلاستيك أو حواجز من الخرسانة أو الأنسجة غير المنفذة [٦]

أما إذا كانت زيادة محتوى الرطوبة ناتجة عن ارتفاع منسوب المياه الجوفية وصعود الماء إلى موقع المئذنة بالخاصية الشعرية فإن حواجز الرطوبة الرأسية سابقة الذكر تملأ بكسر الأحجارCrushed Stones وتسمى حينئذ بحواجز تخفيض منسوب المياه الجوفيةCapillary Bar riers [٧] كما يمكن التحكم فى الرطوبة عن طريق الصرف السطحى وتحت السطحى للمياه وذلك لإيقاف مسار الماء الحر الحركة وخفض منسوب الماء المتسرب إلى

---

(١) عمرو رضوان : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص١١٥ .

(٢) مصطفى كمال عاشور : مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات (١) ، مجلة المهندسين ، نقابة المهندسين ، العدد ٥٣٧ ، ديسمبر ٢٠٠٠م ، ص١٨-١٩.

(٣) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٦٨٥ .

(٤) عمرو رضوان : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص١١٨.

(٥) مصطفى كمال عاشور : مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات ، (٢) مجلة المهندسين ، نقابة المهندسين ، مصر ، العدد رقم (٥٤٠)، مارس ٢٠٠١م ، ص٤٢ .

(6) Attewell, P.B. And Taylor, R.K.: Ground Water Movements And Their Effects On Structures , Surry University, New York, 1984,P.73.

(٧) مصطفى كمال عاشور : مرجع سابق ، ٢٠٠١م ، ص٤٣ .

أسفل المآذن الأثرية وأعاقه حركة الماء نتيجة الخاصية الشعرية أما عن تثبيت التربة بالكيماويات فيتم تثبيتها ببعض المواد مثل الجير والأسمنت وإن كانت إضافة الأسمنت مستبعدة مع المبانى الأثرية لأنها تعتبر مصدر للأملاح أما الإضافات الجيرية فهى تعمل على إزالة أو تقليل انتفاخ التربة Swelling بفعل بعض التأثيرات الكيميائية مثل التغيرات الأيونية Ion Exchange وتضاف هذه المواد إلى التربة بنسبة من ٢:٦ % وممكن إضافتها بإزالة التربة ثم خلطها بالجير وإعادتها مرة أخرى أو إضافة الجير إلى التربة ثم خلطه أو من الممكن حقنه فى التربة كما أنه من الممكن عمل حفر راسية على أعماق وأبعاد مناسبة فى التربة ثم إعادة ملئها بالمادة الجيرية وقد تكون الإضافات فى صورة جيرجاف Dry Lime أو جير لبانى Lime Mortar أو ملاط الجير Lime Slurry وتتأثر نتائج هذه الطريقة بشدة حسب محتوى الرطوبة المبدئى بالتربة ولا تصلح للتربة شديدة الجفاف [١] .

## ٣ـ علاج التربة الطينية اللينة

من الطرق المستخدمة لعلاج التربة الطينية اللينة التحميل المسبق Pre Compression وهناك طريقة مصارف الرمل ( المصارف الراسية ) Sand Drains وهى تستخدم مع طريقة التحميل المسبق وقد ينتج عن هذه الطريقة نسبة من الهبوط قد تؤثر على اتزان المآذن الأثرية ولذلك لا يفضل استخدامها [٢] والطريقة الثالثة هى طريقة الدمك الميكانيكى Dynamic Compaction ونجد أن الطرق الثلاثة المعروفة لعلاج التربة الطينية اللينة لا يمكن تنفيذها بأمان مع المآذن الأثرية ولكن إلى جانب ذلك فإن من النادر أن نجد أثراً مبنياً على تربة طينية لينة حيث لا تستطيع تحمل إجهادات المبانى الأثرية المؤثرة عليها حيث أن مقاومة هذه التربة لإجهادات القص قد لا تتعدى ٠,٥ كجم/سم٢ [٣]

## ٤ـ علاج تربة الردم Fills

هناك الكثير من الطرق تستخدم لمعالجة وتقوية تربة الردم لزيادة قدرة تحملها وخفض الهبوط ومن هذه الطرق الضغط المسبق ، الدمك السطحى ، الدمك العميق ، التقوية بأعمدة الحجارة، التثبيت بالحقن والتقوية بالطرق الكهرواسموزية والكهروكيميائية ويجب دراسة حالة تربة الردم فى كل موقع على حدة وتحديد الأسلوب الأمثل للعلاج لها حيث أنها تربة غير متجانسة فى تركيبها [٤] .

# ( ب ) تدعيم وتقوية الأساسات

يتم تدعيم وتقوية الاساسات للأكتاف والأعمدة والحوائط وذلك حتى تستطيع مقاومة الأحمال الواقعة عليها فى حالة ضعفها وبالنسبة لأساسات الأكتاف والأعمدة فيتم تدعيمها بعمل قميص من الخرسانة المسلحة حول الأساسات القديمة على أن يستخدم اسمنت خالى من الأملاح حتى لا يضر بالأثر فيما بعد وكذلك يقاوم تأثير الكبريتات والقلوريدات أما اساسات الحوائط فيتم تقويتها أما باستخدام طريقة الحقن ويفضل أن يتم الحقن داخل الجدران بمواد

---

(١) مصطفى كمال عاشور : مرجع سابق ، ٢٠٠١م ، ص٤٢ .

( 2) Das, B.M. : Advanced Soil Mechanics, Mc Graw. Hill, New York, 1983,P.168.

(٣) السيد عبد الفتاح القصبى : مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٦٩٠ .

(٤) السيد عبد الفتاح القصبى ، مرجع سابق ، ١٩٩٣م ، ص٦٩٣ .

طبيعية مثل الجير والقصروميل ومسحوق الحجر الجيرى أو يتم تقوية وتدعيم الأساسات بواسطة طريقة الخوازيق الأبرية Micropiles وفيما يلى هذه الطريقة .

## تدعيم وتقوية الأساسات باستخدام الخوازيق الأبرية Micropiles

سميت الخوازيق الأبرية بهذا الاسم نظرا لصغر قطرها الذى يتراوح ما بين ١٠ سم و ٢٥سم، وهذه الخوازيق تستخدم فى تنفيذها ماكينات صغيرة ويتم التنفيذ بالحفر وتنزيل حديد التسليح ثم الحقن [١]، وهذه الخوازيق تتراوح أحمال التشغيل لها من ١٥ طن حتى ٨٠ طن وتستخدم بغرض نقل أحمال المنشأ سواء أستاتيكية أو ديناميكية إلى طبقة الأرض السليمة القوية أسفل طبقات الردم والطبقات الضعيفة عن طريق الاحتكاك بين الخوازيق وطبقات التربة المختلفة[٢]

### الماكينة المستخدمة فى تنفيذ الخوازيق

تعتبر الخوازيق الأبرية ملائمة للمناطق السكنية حيث يتم تنفيذها بواسطة ماكينة ذاتية الحركة أو ونش مثبت أمامه دليل ينزلق عليه بريمة متصلة بكامل طول الخازوق مجوفة فى مركزها بثقب قطره من ٤:٥ بوصة كما أن اختلاف قطر البريمة يتيح لنا تغيير قطر الخازوق وبالتالى قدرة تحمله والخوازيق المنفذة بهذه الطريقة ويمكن استعمالها بكفاءة عالية حتى عمق ٢٨ متر طولى ، وتنقسم إلى قسمين :

### أولا : خوازيق أبرية ذات ضغط منخفض

ضغط الحقن بهذه الخوازيق يكون من ٢:٥ بار وطريقة تنفيذها كما يلى :-

### طريقة التنفيذ

يتم الحفر بالقطر والطول المطلوبين من سطح التشغيل للماكينة باستخدام سائل الحفر المكون من سائل البنتونيت أو الأسمنت والماء والبنتونيت بالنسبة المطلوبة وحسب نوع التربة ، بعد انتهاء الحفر بمواسير حضر خاصة وبعد انتهاء الحفر حتى الطول المطلوب يتم رفع خط الحفر و إنزال مواسير التسليح بالقطر المطلوب وهى حديد من النوع ٥٢ ، بعد إنزال حديد التسليح يتم الحقن من أسفل الخازوق لأعلى تحت ضغط من ٢ إلى ٥ بار [٣] حتى يتم ملئ قطاع الخازوق بكامل الطول داخل وخارج ماسورة التسليح ( قطر الماسورة يقل ٦سم عن قطر الحفرة) ويتم فى نفس الوقت سحب سائل الحفر بواسطة طلمبه وإنزال مواسير التسليح بالقطر المطلوب وهى تحل محل سائل الحفر [٤] شكل رقم (٢٥).

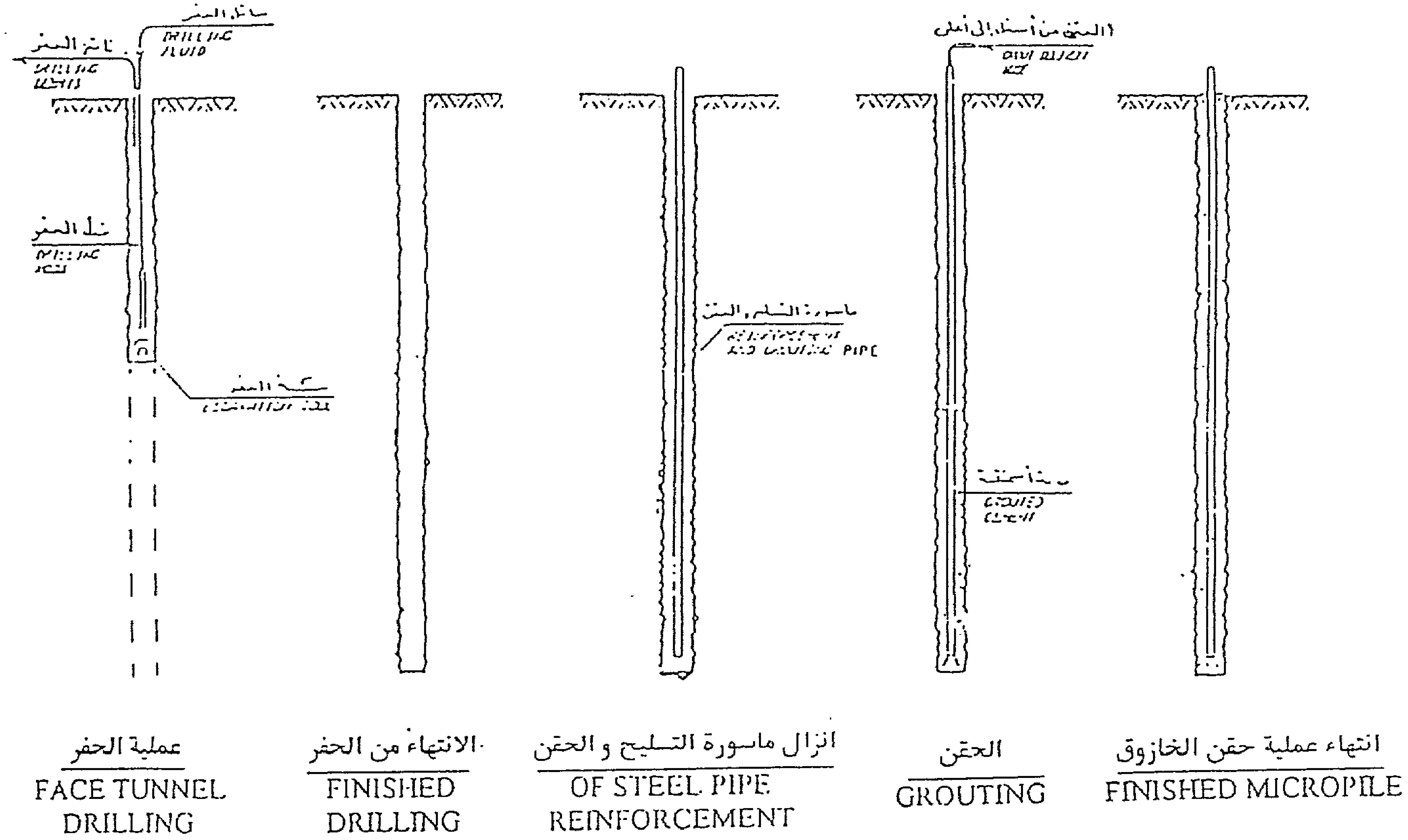
---

(١) عبد المجيد عباس يوسف ، أعمال الأساسات ، مشروع ترميم الجامع الأزهر الشريف ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، سبتمبر ١٩٩٨م ، ص٥ .

(2) Bertero, M. Foundation Improvement By Jet Grouting Of A Historical Building In Cervia, It Aly- Experimental Investigation In : The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May ,1993,P.381.

(3) Paviani, A.: Development In Jet- Grouting Techniques , In : The Arab Contractors Trainining Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May, 1993,P.1.

(٤) عبد المجيد عباس يوسف : مرجع سابق ، سبتمبر ، ١٩٩٨م ، ص٨.




شكل رقم (٢٦) يوضح خطوات تنفيذ الخوازيق الأبرية تحت ضغط منخفض .

(عن عبد المجيد عباس ٢٠٠٠م )

### ثانيا : خوازيق إبرية ذات ضغط عالى

يتم الحقن فى هذا النوع بضغط يتراوح من ١٠-٢٠ بار ويتم الحقن من خلال ماشيتات كـل ٥٠ سم أو حسب التصميم المطلوب .

### طريقة التنفيذ

يتم الحفر بالقطر والطول المطلوبين من سطح تشغيل الماكينة باستخدام سائل الحفر المكون من سائل البنتونيت أو الأسمنت والماء والبنتونيت بالنسب المطلوبة حسب نوع التربة .

بعد انتهاء الحفر حتى الطول المطلوب يتم رفع خط الحفر وإنزال حديد التسليح وهو عبارة عن مواسير حديد عالى المقاومة ( حديد ٥٢ ) بها ماشيتات كل ٥٠سم حيث يتم تثقيب المواسير فى المسافة التصميمية بثقوب على محيط الماسورة مع وضع كاوتش على الثقوب ليعمل كصمام عدم رجوع [١] ويتم وضع حلقات حديد قبل وبعد الكاوتش لحمايته أثناء تنزيل المواسير .

### الحقن الإبتدائى

يتم الحقن الإبتدائى من أول ما شيت أسفل الماسورة حتى يتم ملئ الخازوق حول الماسورة وتتكون مونة الحقن من الأسمنت والماء والبنتونيت . ويتم غسل الماسورة بالماء من الداخل .

### الحقن النهائى

بعد مرور ٢٤ ساعة على الحقن الابتدائى يتم الحقن النهائى بضغط من ١٠إلى ٢٠ بار حسب نوع التربة من الماشيت الأسفل ثم الذى يليه حتى نهاية الماشيتات ثم يتم حقن باقى الخازوق[٢] توجد ثلاث حالات للتحكم فى الحقن ، حيث نجد فى حالة زيادة الضغط عن المطلوب أى حتى ٥٠ بار وعدم قبول الماشيت لمونة الحقن يتم الانتقال إلى الماشيت الذى يليه[٣] . وفى حالة قبول الماشيت نصف الكمية التصميمية يتم إيقاف الحقن ويتم الرجوع إليه بعد ١٢ ساعة [٤] ، وفى حالة قبول الماشيت للكمية التصميمية مع وجود ضغط يتم الانتقال للماشيت الذى يليه [٥] شكل رقم(٢٦) و بعد الانتهاء من تنفيذ الخوازيق الأبرية يتم حقن أساسات الحوائط لمسافة واحد متر وذلك لتقوية هذا الجزء من الحائط [٦] .

## ٣ - الترميم المعمارى للمآذن الأثرية

تتناول عمليات الترميم المعمارى للمآذن الأثرية عمليات الاستكمال للأجزاء الناقصة والمفقودة خاصة فى حالة الضرورة الإنشائية لتدعيم أو تقوية المئذنة كما يشمل الترميم المعمارى استبدال بعض كتل الأحجار التالفة أو التى

---

( 1) Paviani, A.: Op. Cit., 1993,P.383.

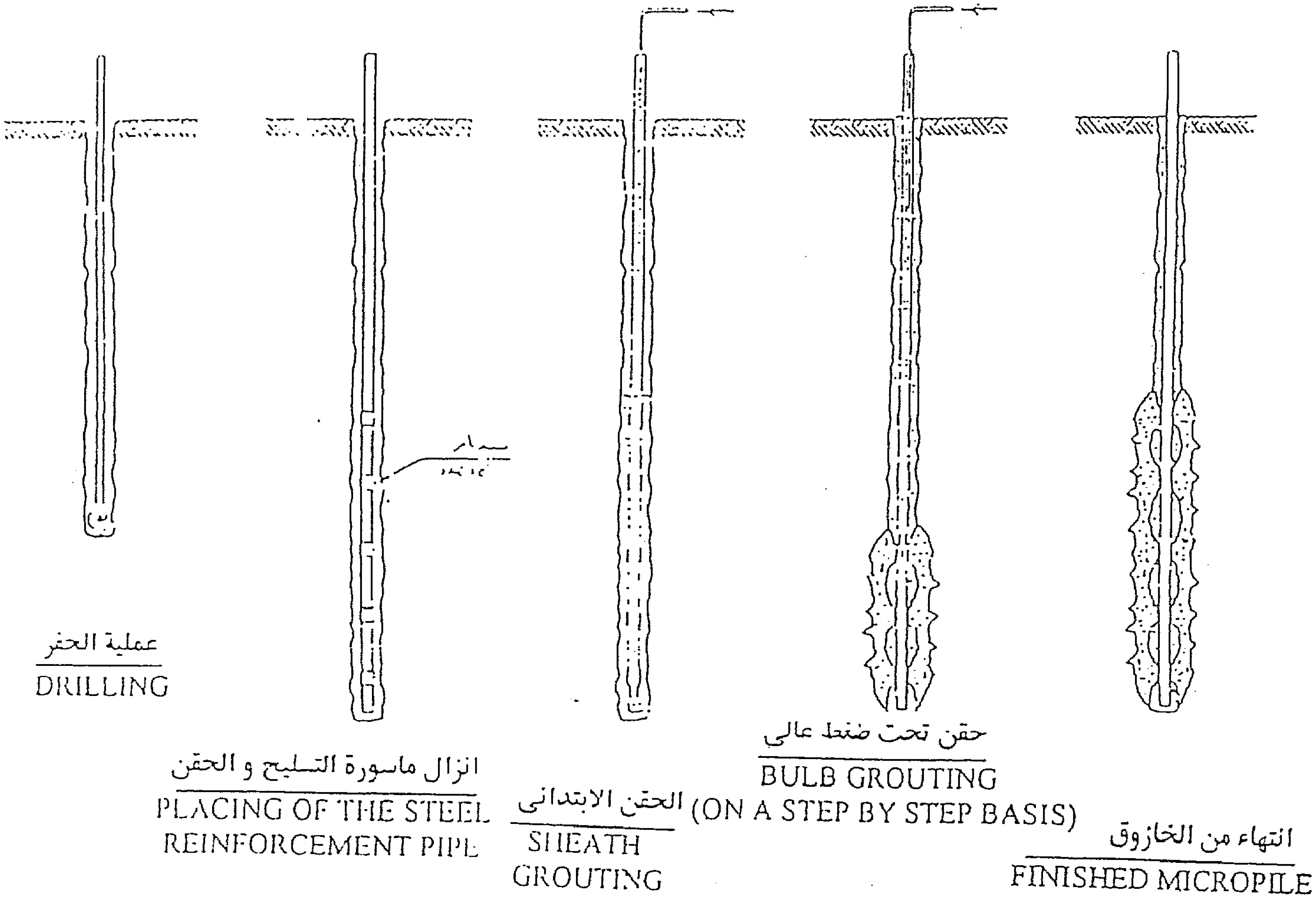
( 2) Paviani, A. : OP. Cit., 1993,P.3.

( 3) Bertero, M.: Op. Cit., 1993,P.386.

(٤) عبد المجيد عباس : مرجع سابق ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٨ .

(٥) عبد المجيد عباس : مرجع سابق ، فبراير ٢٠٠٠م ، ص٧ .

( 6) Bertero, M. : OP. Cit., 1993,P.385.




شكل رقم (٢٧) يوضح خطوات تنفيذ الخوازيق الأبرية تحت ضغط مرتفع .

(عن عبد المجيد عباس ٢٠٠٠م )

سقطت وكذلك كتل الأحجار التى تعرضت للتآكل وتحمل زخارف على بدن المئذنة وذلك لاستعادة الشكل الأصلى المتكامل للمئذنة كما يمكن أن يتناول الترميم المعمارى علاج وترميم قمم المآذن التى تعرضت للتلف والتآكل وهى المآذن ذات الطراز العثمانى التى تمتاز بوجود القمة المدببة المخروطية ذات الشكل الذى يشبه القلم الرصاص وكذلك المآذن المملوكية التى فقدت قمتها المتمثلة فى الجوسق كما يشمل الترميم المعمارى للمآذن الأثرية أيضا عمليات الفك وإعادة البناء عند وجود مشاكل إنشائية مثل وجود ميول بالمآذن وعدم اتزانها ووجود ضرورة حتمية لعملية الفك للمئذنة سواء بشكل جزئى لبعض الأجزاء منها أو بشكل كلى ثم إعادة بناءها مرة أخرى بشكل رأسى متزن وعند إجراء عمليات الترميم المعمارى للمآذن الأثرية لابد بداية من جمع المعلومات والبيانات الخاصة بالوضع الأصلى الأثرى لها بالحصول على جميع الأعمال السابقة التى أجريت لهذه المآذن من أعمال ترميم سابقة وطبيعة هذه الأعمال وتواريخها أو أعمال صلب أو رصد مساحى أو عمليات تسجيل وتوثيق فوتوغرافى أو معمارى أو مشروعات ترميم أو استكمال سابقة تم تنفيذها أو لم يتم تنفيذها وإن تعذر الحصول على هذه البيانات والمعلومات فيمكن المقارنة بين المئذنة المراد ترميمها ترميما معماريا وبين المآذن الأثرية الأخرى المشابهة لها والتى تنتمى لنفس العصر ونفس الطراز حيث نجد أن هناك سمات ومميزات معمارية عامة تميز مآذن كل عصر كما تم ذكره فى الفصل الأول من الرسالة وسوف نتناول مصادر التسجيل والتوثيق التى يمكن الاستعانة بها فى الترميم المعمارى للمآذن الأثرية.

## ١- مصادر التسجيل والتوثيق التى يمكن الاستعانة بها فى الترميم المعمارى للمآذن الأثرية

### أولا : وثائق الأوقاف الخاصة بالمبانى الأثرية الإسلامية

تعد وثائق الأوقاف الخاصة بالمبانى الأثرية الإسلامية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية من المصادر الهامة التى تحتوى على وصف دقيق وشامل للأثر بعناصره المعمارية المختلفة وحالته الأصلية التى كان عليها وقت إنشائه، كما تحتوى وثيقة وقف كل أثر على ما كان موقوفا عليه وكذلك جميع المعلومات الخاصة عن طبيعة الأثر وحالة كل عنصر من عناصره وبالتالى نستطيع التعرف على الوصف الأثرى والمعمارى للمآذن الأثرية وحالتها الأصلية قبل أن تتلف أو تفقد أى جزء من أجزائها وبالتالى نستطيع الاستعانة بهذه الوثائق فى إجراء أعمال الترميم المعمارى للمآذن الأثرية .

### ثانيا : أعمال التسجيل والتوثيق الفوتوغرافى السابقة للمآذن الأثرية

تعتبر عمليات التسجيل الفوتوغرافى السابقة للمآذن الأثرية من المصادر الهامة جدا والتى نستطيع من خلالها التعرف على الشكل والتكوين المعمارى الأصلى للمئذنة ومقارنته بالوضع الراهن لها خاصة فى حالة فقدان أجزاء منها وعلى سبيل المثال المآذن ذات الطراز المملوكى التى تنتهى بثمانية أعمدة تحمل جوسق حيث تعرض هذا الجوسق للانهيار فى بعض المآذن نتيجة الحركة الفجائية الناتجة عن الزلازل أو الهبوط غير المنتظم للتربة مما يؤدى إلى وجود ميل كبير قد يسبب عدم إتزان قمة المئذنة المتمثلة فى الجوسق أو تآكل وسقوط القمة ذات الشكل الإسطوانى المخروطى المدبب للمآذن العثمانية وبالبحث فى الأرشيف الخاص بالسلبيات الفوتوغرافية للآثار الإسلامية بالقلعة والتابع للمجلس الأعلى للآثار حيث يوجد ملف خاص بكل آثر إسلامى وتحتوى هذه الملفات على بعض الصور الفوتوغرافية القديمة لهذه الآثار الإسلامية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن وقد تم إجراء

عملية بحث دقيق لهذه الملفات المحتوية على السلبيات الفوتوغرافية وتم الحصول على نسخ من بعض الصور الفوتوغرافية القديمة التى يظهر فيها الشكل والتكوين المعمارى لبعض المآذن الأثرية وكذلك بعض الصور الفوتوغرافية القديمة لنفس هذه المآذن الأثرية تظهر فيها هذه المآذن وقد فقدت قمتها المتمثلة فى الجوسق والأعمدة الحاملة له والتى تنتمى إلى الطراز المملوكى أو المتمثلة فى قمتها المدببة للمآذن الأثرية التى تنتمى إلى الطراز العثمانى ومن هذه المآذن ما يلى :-

## (١) مئذنة جامع أيدمر البهلوان أثر رقم (٢٣)

يرجع إنشاء هذه المئذنة إلى قبل عام ٧٤٧هـ / ١٣٤٦ م بواسطة الأمير بيدمر البدرى (١) وتقع هذه المئذنة على يمين المدخل المؤدى لداخل الجامع والذى يقع فى الطرف الأيسر للواجهة الرئيسية للجامع وتشرف المئذنة من خلال واجهتها الشمالية الغربية على شارع أم الغلام بالقرب من الجامع الحسينى (٢) ، وهذه المئذنة التى تعود إلى العصر المملوكى البحرى وتنتهى قمتها بجوسق تم العثور على صورتين فوتوغرافيتين لها تمثل الأولى المئذنة وهى كاملة ذات قمة على هيئة جوسق محمول على أربعة دعامات ، صورة رقم (١٤) أم الصورة الثانية لنفس المئذنة فتظهر المئذنة وقد فقدت قمتها وأنهار الجوسق الخاص بها وهى نفس الحالة التى توجد عليها المئذنة ووضعها الراهن الآن ، صورة رقم (١٥) وبالطبع فإن هاتين الصورتين غير المحددتين تاريخياً يمكن الاستعانة بهما فى حالة ما إذا أردنا استكمال قمة المئذنة وبناء جو سقها .

## (٢) مئذنة قانيباى الجركسى أثر رقم (١٥٤)

ترجع هذه المئذنة إلى العصر المملوكى الجركسى وتعود فترة بناءها إلى عام (٨٤٥هـ / ١٤٤١م) وتقع مئذنة مدرسة قانيباى الجركسى فى الزاوية الشمالية الغربية للمدرسة وهى تبدأ من الأرض بقاعدة تتكون من ٣٣ مدماك حجرى ولذلك فهى تتميز باستطالة قاعدتها ويتضح من الوضع الراهن للمئذنة أنه لم يتبق منها سوى قاعدتها والشرفة الأولى المربعة التى تعلوها ثم الطابق الأول الذى يلى الشرفة وهو مستدير المسقط ثم المقرنصات الحاملة للشرفة الثانية وهى مبنية من الحجر الجيرى (٣) ومن خلال البحث فى الملف رقم (١٥٤) الخاص بمئذنة مدرسة قانيباى الجركسى وجدت صورتين فوتوغرافيتين لمئذنة قانيباى الجركسى إحداهما وهى الأقدم تاريخياً تظهر فيها المئذنة بالتصميم والتكوين المعمارى لها حيث يعلو الطابق الأول المستدير ذو الزخارف الزجزاجية مستوى ثالثاً فوق القاعدة والمستوى الذى يعلوها وهو مستدير الشكل فتحت فيه أربعة فتحات وينتهى هذا المستوى بثلاثة صفوف من المقرنصات ، صورة رقم (١٦) ثم تنتهى المئذنة بقمة تشبه شكل القلة ( مملوكية الطراز) ثم يعلوها هلال أما الصورة الفوتوغرافية الأخرى فهى تمثل المئذنة بوضعها الحالى حيث تظهر فيها القاعدة المربعة يعلوها المستوى الثانى المستدير ذو الزخارف الزجزاجية المنحوتة فى الحجر صورة رقم (١٧) ( تم تصويرها فى أكتوبر عام

---

(١) شاهنده فهمى كريم : جوامع ومساجد أمراء السلطان الناصر محمد بن قلاوون ، رسالة دكتوراه ، قسم الآثار الإسلامية، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٧م ، ص٢٦٧ .

(٢) عبد الله كامل موسى : تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربى وحتى نهاية العصر المملوكى ، دراسة معمارية زخرفية مقارنة بمآذن العالم الإسلامى ، رسالة دكتوراه ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة، ١٩٩٤م ، ص٢٣٨ .

(٣) عبد الله كامل موسى : مرجع سابق ، ١٩٩٤م ، ص٣٩١ .

١٩٢٩م ) وبواسطة هاتين الصورتين الفوتوغرافيتين يمكن إجراء الترميم المعمارى لهذه المئذنة إذا تقرر ذلك فى وجود رؤية واضحة للتكوين المعمارى الأصلى الأثرى لهذه المئذنة وتقع هذه المئذنة بمنطقة السيدة عائشة .

## (٣) مئذنة مسجد مغلباى طاز أثر رقم (٢٠٧)

ترجع هذه المئذنة إلى العصر المملوكى الجركسى وتعود إلى عام (٨٧١هـ / ١٤٦٦م- ١٤٦٧ م) وبالبحث فى ملف الأثر رقم (٢٠٧) الخاص بمسجد مغلباى طاز تم الحصول على نسخة من صورة فوتوغرافية قديمة تمثل المئذنة كاملة ولكن على الرغم من الطراز المملوكى الجركسى لها إلا أنها تنتهى بقمة مخروطية مدببة تكسوها ألواح الرصاص للحماية ومن المرجح أن هذه القمة قد تكون قد أضيفت للمئذنة بفعل فقدان قمتها الأصلية وذلك خلال العصر العثمانى ، صورة رقم (١٨) ( تم تصويرها فى شهر ديسمبر عام ١٩٢٦م ) وبمقارنة هذه الصورة بالصورة رقم (١٩) والتى تمثل الوضع الراهن للمئذنة نجد أنها قد فقدت قمتها وهى غير موجودة الآن وتقع هذه المئذنة بحاره بنت المعمار بالصليبة .

## (٤) مئذنة مسجد أيتمش البجاسى أثر رقم (٢٥٠)

ترجع هذه المئذنة إلى العصر المملوكى الجركسى وتعود إلى عام (٧٨٥هـ/١٣٨٣م ) وقد تم الحصول على نسخة من صورة فوتوغرافية قديمة لها تمثل المئذنة كاملة وقمتها مدببة الشكل تكسوها طبقة بيضاء من الملاط وهى مبنية من الطوب المحروق الآجر، صورة رقم(٢٠) (تم تصويرها عام ١٩١٥م ) وبمقارنة هذه الصورة الفوتوغرافية ، بصورة أخرى تمثل الوضع الراهن للمئذنة ، صورة رقم (٢١) نجد أن هذه المئذنة فقدت أجزاء من الدرابزين الخشبى المحيط بشرفتها وكذلك فقدت قمتها المدببة بشكل شبة كلى حيث لم يتبق منها غير الشدادات الخشبية التى تكون الشكل المدبب ذى الأضلاع المتعددة للمئذنة والهلال الذى تنتهى به المئذنة .

ومن خلال العرض السابق نجد أن الصور الفوتوغرافية القديمة للمآذن الأثرية فى حالة توفرها فإنها تعتبر من مصادر التوثيق والتسجيل الهامة التى توضح التصميم والتكوين المعمارى الأصلى للمئذنة وما قد يكون أضيف إليها فى العصور التالية ويتم الاستعانة بذلك عند إجراء الترميم المعمارى لاستكمال الأجزاء المفقودة من المآذن الأثرية .

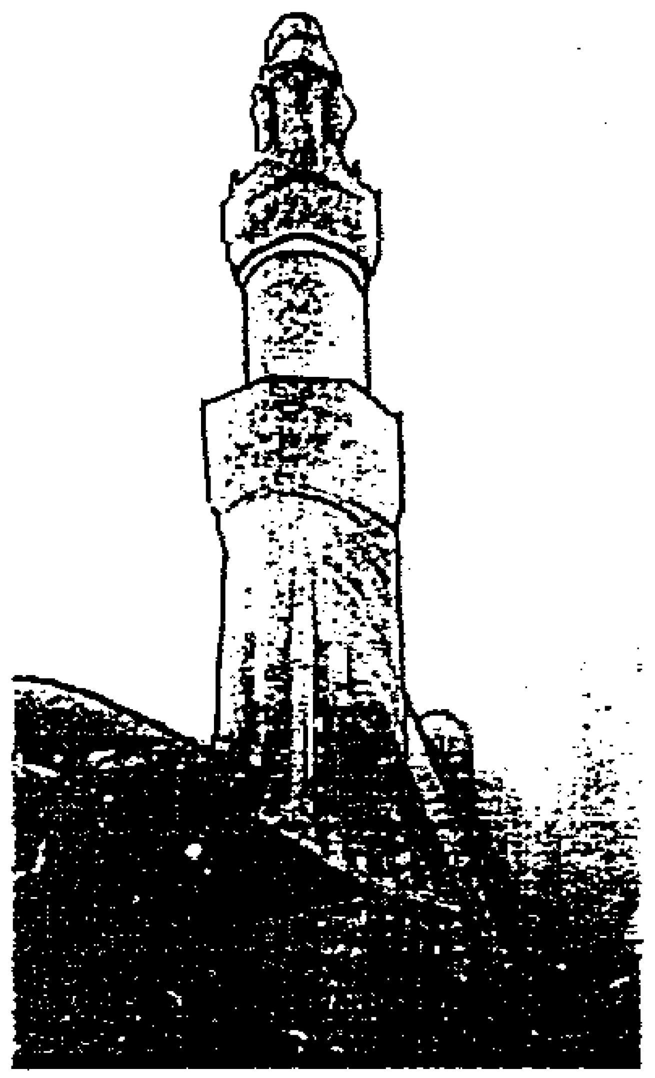
## ثالثا : الكراسات الخاصة بنشاط لجنة حفظ الآثار العربية فى ترميم وصيانة الآثار

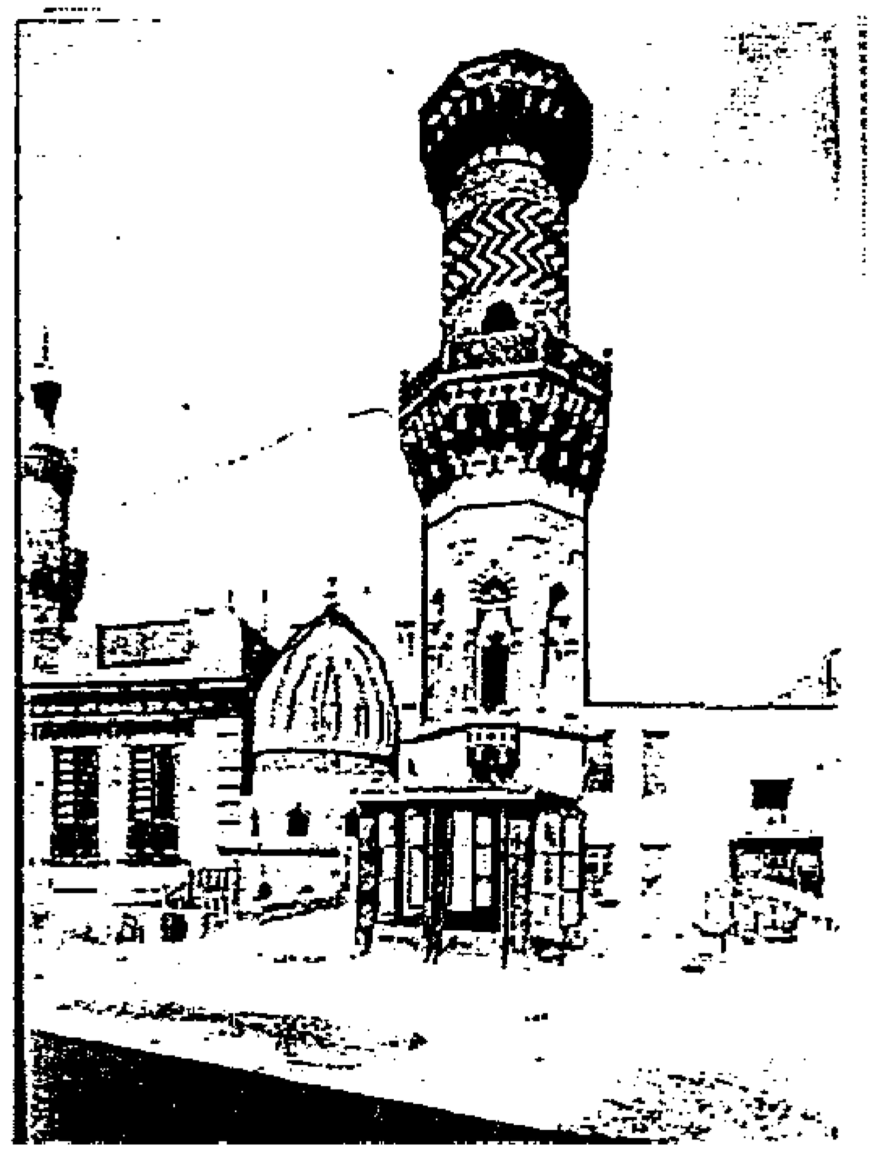
قامت لجنة حفظ الآثار العربية منذ عام ١٨٨١م بأعمال ترميم وصيانة للآثار الإسلامية وفى عام ١٩٥٣م أصبحت لجنة حفظ الآثار العربية تابعة لهيئة الآثار المصرية تحت أسم قطاع الآثار الإسلامية والقبطية [١] وقد نشرت هذه اللجنة أعمالها فى ترميم وصيانة الآثار الإسلامية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية فى تقارير فنية وهندسية وضعت فى أربعين جزءا خلال ما يقرب من سبعين عاما من العمل [٢]، سميت هذه التقارير الفنية والهندسية بكراسات لجنة حفظ الآثار العربية . ومن خلال هذه الكراسات نستطيع الحصول على بيانات ومعلومات هامة عن الأعمال السابقة التى أجريت لترميم وصيانة المآذن الأثرية ومن خلال ذلك نستطيع الاستفادة بهذه

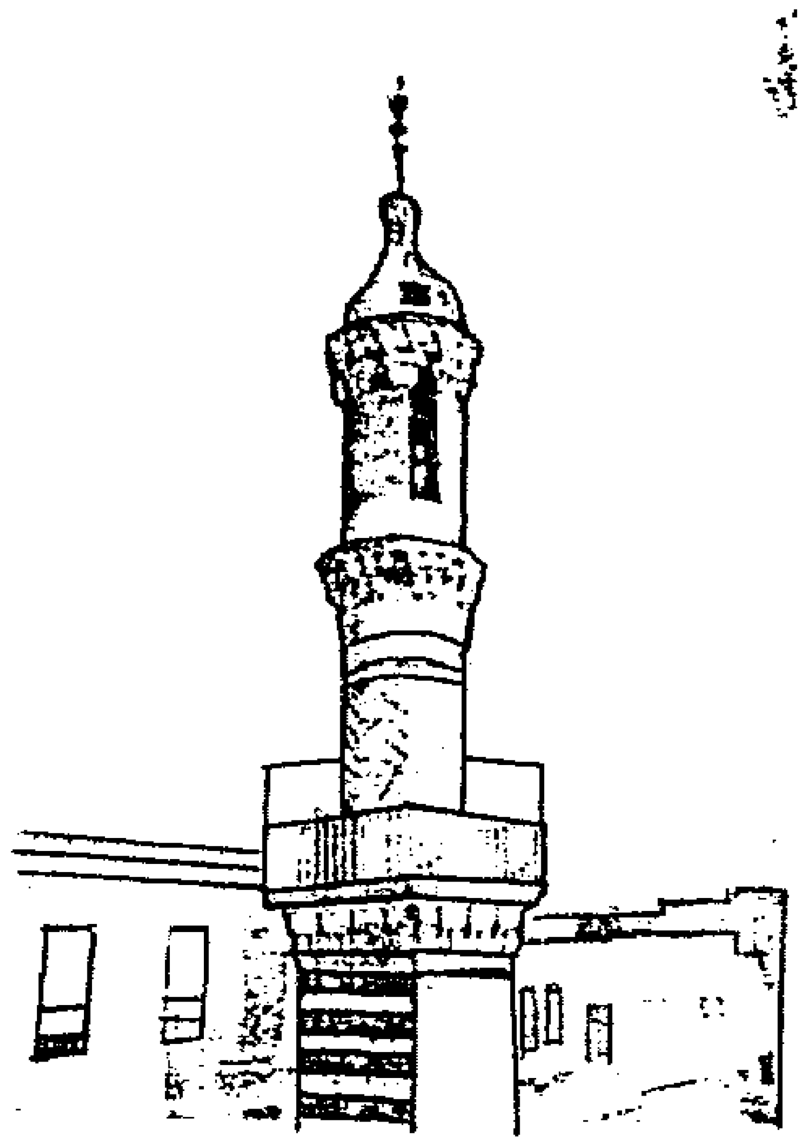
---

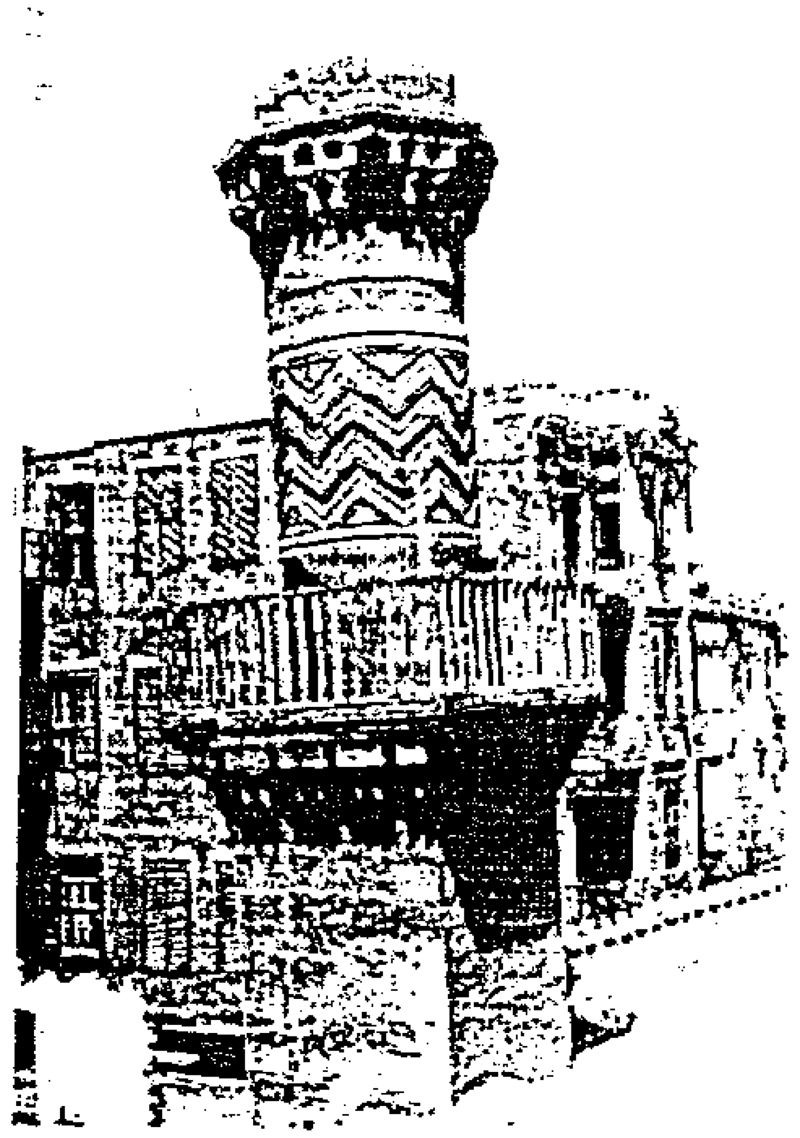
(1) Al- Minabbawy, M.: Restoration Work In Cairo, Past, Present And Future In: The Restoration And Conservation Of Islamic Monuments In Egypt, The American Uni. In Cairo Press, 1995,P.15.

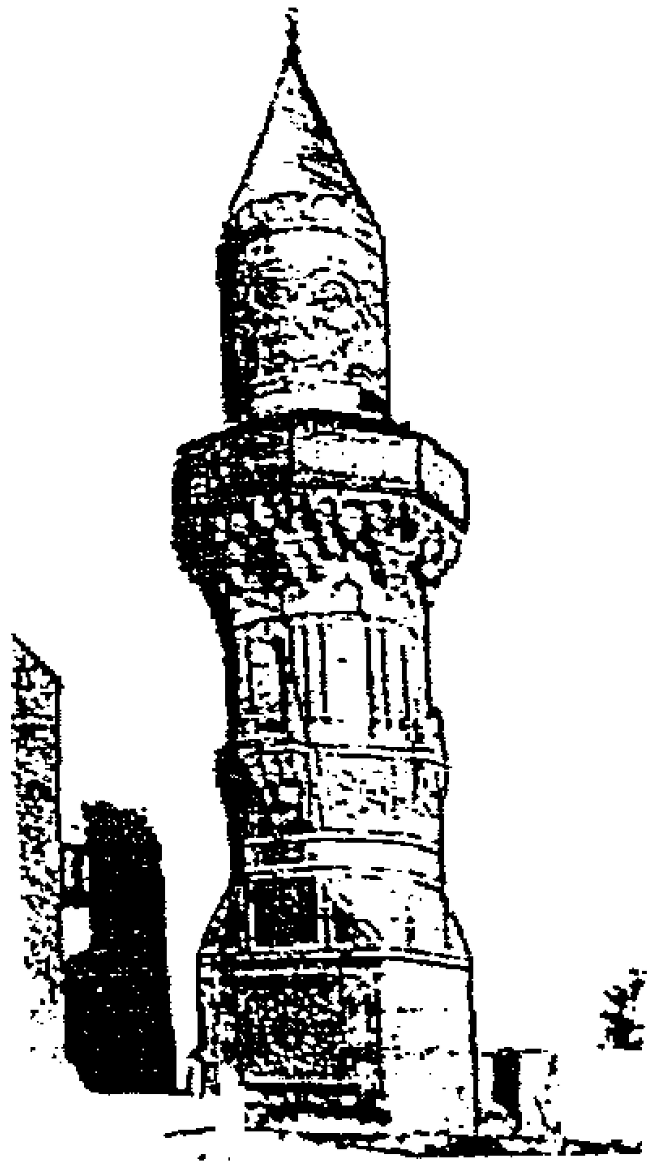
(٢) محمد كمال خلاف : دراسة علاج وصيانة المحاريب الأثرية بمدينة القاهرة تطبيقا على محاريب مزخرفة بالفسيفساء ، رسالة ماجستير ، قسم الآثار ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م ،ص

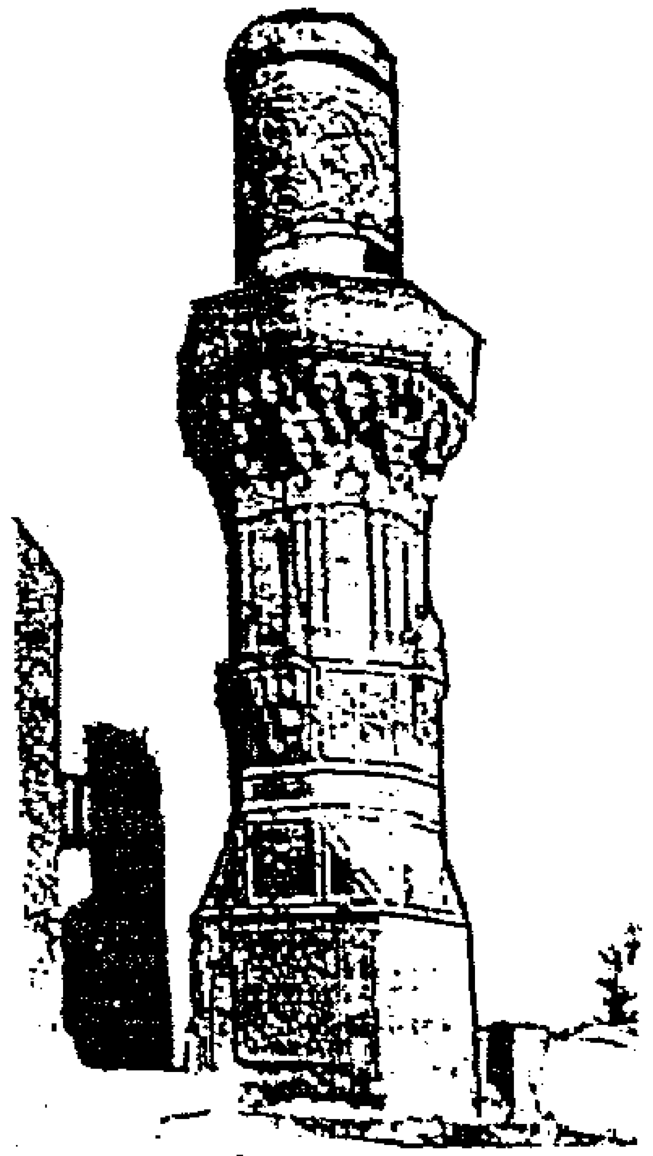

صورة رقم ( ١٤ ) توضح مئذنة جامع
أيدمر البهلوان كاملة( صورة أرشيفية )

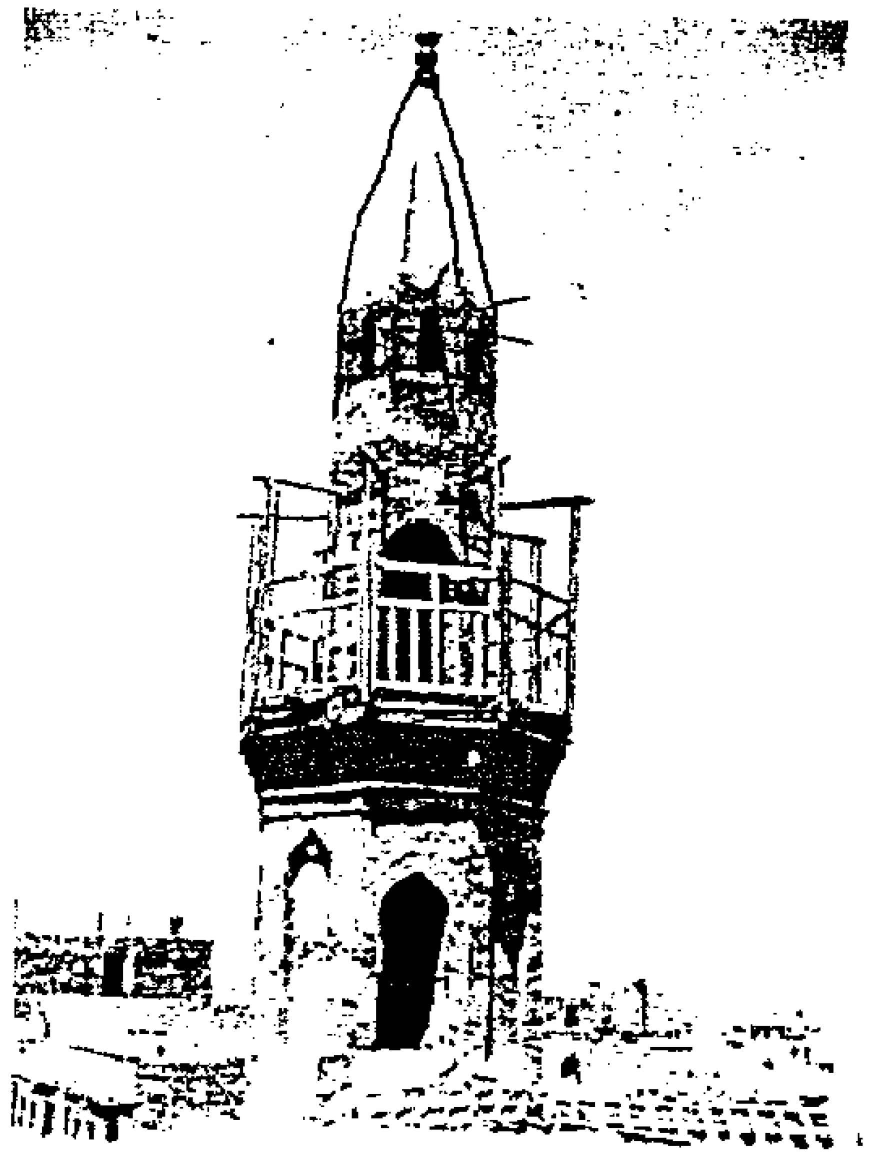

صورة رقم ( ١٥ ) توضح مئذنة جامع أيدمر
البهلوان بدون الجوسق( صورة أرشيفية )

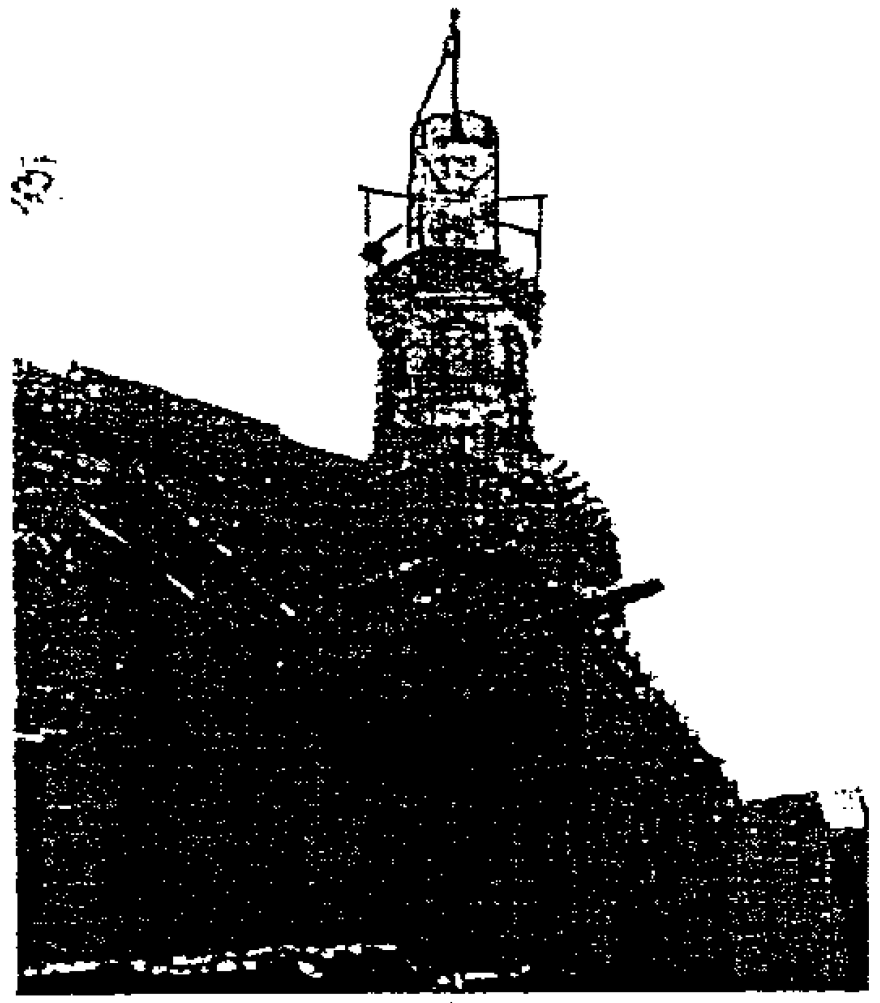

صورة رقم ( ١٦ ) توضح مئذنة جامع
قانيباي الجركسي كاملة( صورة أرشيفية )


صورة رقم ( ١٧ ) توضح مئذنة جامع قانيباي
الجركسي بدون الجوسق( صورة أرشيفية )


صورة رقم ( ١٨ ) توضح مئذنة جامع
مغلباي طاز كاملة( صورة أرشيفية )


صورة رقم ( ١٩ ) توضح مئذنة جامع
مغلباي طاز بدون الجوسق( صورة أرشيفية )


صورة رقم ( ٢٠ ) توضح مئذنة جامع
أيتمش البجاسي ( صورة أرشيفية )


صورة رقم ( ٢١ ) توضح مئذنة جامع
أيتمش البجاسي ( في الوضع الحالي )

المعلومات فى إجراء عمليات الترميم المعمارى للمآذن الأثرية وسوف نعرض لذلك مثالين هما مئذنة جامع أيدمر البهلوان ومئذنة مدرسة القاضى عبد الباسط .

## (أ) مئذنة جامع أيدمر البهلوان اثر رقم (٢٣)

لقد تمت عمليات ترميم وصيانة عديدة ومكثفة لمئذنة جامع أيدمر البهلوان وقد أمكن التعرف على هذه العمليات التى أجريت للترميم والصيانة من خلال كراسات لجنة حفظ الآثار العربية وتسجل هذه الكراسات انه تم تدعيم هذه المئذنة للمرة الأولى فى عصر الخديوى عباس حلمى باشا (١) ولكن الشروخ ظهرت فى قاعدتها وبدأت المئذنة تميل ناحية الشمال الشرقى وأصبح من الضرورى تدعيم المئذنة مرة أخرى بالكتل الحجرية كبيرة الحجم وتم استخدام الأسمنت البورتلاندى (٢) ولكن لم يبدأ العمل بشكل فورى كما كان مقترحاً وحتى سنة ١٨٨٩ م(٣) واستمر خطر انهيار المئذنة قائماً مما استدعى البدء فى علميات التدعيم والتى انتهت فى نفس العام بعد اتخاذ إجراءات حاسمة مع المقاول المسئول (٤) أما فى سنة ١٨٩١ م فإن تقرير لجنة حفظ الآثار العربية أوضح أنه يجب القيام برصد مدى استقامة ورأسية المئذنة ، وكانت نتيجة عملية الفحص والرصد أنه من تاريخ نهاية عملية التدعيم التى أجريت لها وهو عام ١٨٩٠م لم يظهر شئ فى تغير وضعها والجدير بالذكر أنه خلال عملية التدعيم للمئذنة تم صلبها من الجهتين الشمالية والغربية وتم التدعيم بأحجار منحوتة ومونة الأسمنت البورتلاندى حتى ارتفاع مترين من الأرض داخل المسجد وفوق ذلك الارتفاع استعلمت مونة الجبس وقد تم اتخاذ بعض إجراءات الأمان للمئذنة ومنها ردم بئر كان موجوداً غرب المئذنة وتخفيف الشدة الخشبية المستخدمة لصلب المئذنة بواسطة نشر أخشابها من الأطراف ومراقبة المئذنة لمدة ٦ اشهر لمعرفة ما إذا كان سيحدث بها حركة أو تزيد الشروخ التى ظهرت فى الجزء السفلى من المئذنة مع موافقة اللجنة على اقتراح فك وإعادة بناء الجزء العلوى من المئذنة المتمثل فى الجوسق فى حالة ثبات حالة المئذنة أما إذا حدثت ميول فرأى اللجنة أن يتم فك و إزالة المئذنة بشكل كامل ثم إعادة بناءها كاملة مرة أخرى على نحو صحيح (٥) وبعد مرور عام كامل تم عمل رصد مساحى للمئذنة لفحص رأسية واستقامة كل مستوى من مستويات المئذنة على حدة وأخذ قطاع عن الحالة الراهنة للمئذنة فى الاتجاه الأكثر ميلاً وتمت الفحوص بواسطة صابربك صبرى ومسيوهرتس و قد أعطت الفحوص ميلاً فى اتجاه الغرب وذلك بمقدار ٣١ مم لكل واحد متر وقد ظهر من خلال رصد الميل فى نقطة جهة الشرق على ارتفاع ٦,٥ متراً أن مجموع الميول يبلغ ٢٦٠ مم أى باعتبار وجود ميل بمقدار ٤٠ مم (٤سم) لكل واحد متر وهذا يتطلب أن فك الجزء العلوى( قمة المئذنة) وحفظ الكتل الحجرية المكونة للقمة وترقيمها ورصها بانتظام داخل الجامع وبعد إجراء عملية رصد أخرى بعد فترة للمئذنة وجد أنها بقيت على حالتها التى كانت عليها بعد إجراء عملية الصلب والتدعيم ولذلك فقد تقرر مرة أخرى فى شهر أغسطس عام ١٨٩٣ م فك خوذة ( قمة ) المئذنة والأعمدة الحاملة لها (٦) وتذكر كراسات اللجنة أنه تم إعادة بناء هذا الجزء العلوى فى جامع الحاكم بأمر الله، ثم حدث وأن مالت المئذنة مرة ثانية فى سنة ١٩٣٠ م (٧) وتم التفكير

---

(١) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٨٦م ، ص١٢ ، كراسة رقم (٤) .

(٢) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٨٧م ، الكراسة رقم (٥) ص٢٣ .

(٣) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٨٩م ، الكراسة رقم (٦) ص ١٤.

(٤) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٩١ ، الكراسة رقم (٨) ص١٢٢.

(٥) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٩٢م ، الكراسة رقم (٩) ص٥٩.

(٦) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٨٩٣م ، الكراسة رقم (١٠) ص ٨٧-٨٨

(٧) محاضر لجنة حفظ الآثار العربية عن سنة ١٩٣٠-١٩٣٢م ، ص ١٩٠

فى فك أحجارها وازالتها ولكن هذا لم يتم وبقيت المئذنة على حالتها بعد تدعيمها وسد باب المدخل الموجود أسفلها بالكتل الحجرية ، ومما ذكر سابقا نجد أننا قد استطعنا الحصول على سجل كامل لما أجرى لمئذنة مسجد أيدمر البهلوان ، أثر رقم (٢٢) من خلال محاضر لجنة حفظ الآثار العربية التى تم جمعها من المجلدات أو الكراسات ومن ذلك يتضح أن هذه التقارير الفنية والهندسية للجنة حفظ الآثار العربية ونشاطها فى ترميم وصيانة المآذن الأثرية مصدر هام جدا يمكن الاستعانة به لمعرفة الأعمال السابقة التى أجريت للمئذنة وشكلها الأصلي الأثري المعمارى قبل القيام باجراء عمليات الترميم المعماري لها .

## (٣) مئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط أثر رقم (٦٠)

ترجع هذه المئذنة إلى العصر المملوكي الجركسي وتعود إلى عام ( ٨٢٣ هـ / ١٤٢٠م ) وتأخذ مئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط الشكل المملوكى حيث يتميز هذا الطراز بالقمة التى تتكون من ثمانية أعمدة تحمل جوسق ينتهى بشكل القلة المقلوبة ويعلوه هلال غالبا من النحاس ومن خلال كراسات لجنة حفظ الآثار العربية اتضح ان قمة هذه المئذنة قد تعرضت للإنهيار وتم ترميمها خلال العصر العثماني بعمل قمة لها تتخذ الشكل الاسطوانى وتنتهى بمخروط مدبب يشبه القلم الرصاص تكسوه ألواح من الرصاص ويعلو القمة هلال من النحاس وقد قامت لجنة حفظ الآثار العربية خلال الفترة من عام ١٩٣٦ إلى عام ١٩٤٠ م بفك القمة المدببة للمئذنة والتى تم عملها خلال العصر العثماني وإعادة المئذنة إلى شكلها الأصلي بعمل قمة جديدة للمئذنة عبارة عن ثمانية أعمدة تحمل جوسقا ينتهى بهلال من النحاس وقد تم تسجيل وتوثيق ذلك عن طريق التصوير الفوتوغرافي الذي يمثل المئذنة عندما كانت تحمل قمة مدببة على الطراز العثمانى كما يتضح من الصورة رقم (٢٢) وصورة أخرى تمثل المئذنة بعد أن تم عمل القمة الجديدة ذات الطراز المملوكي المتمثل فى جوسق محمول على ثمانية أعمدة ، كما يتضح من الصورة رقم(٢٣) (١) ، ومن خلال ما سبق اتضح لنا أنه بفضل كراسات لجنة حفظ الآثار العربية تم التأكد من أن القمة المملوكية الموجودة الان لمئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط ليست هى القمة الأصلية الخاصة بالمئذنة ولكن هذه القمة تم عملها من قبل لجنة حفظ الآثار العربية خلال الفترة من عام ١٩٣٦ إلى عام ١٩٤٠ م وهذه المعلومات أيضا تؤكد مدى أهمية هذه المجلدات أو الكراسات التى ينبغى الرجوع إليها عندما يراد إجراء عملية ترميم معمارى أو صيانة لإحدى المآذن الأثرية .

## رابعاً : خطط ومشروعات الترميم المعماري السابقة للمآذن الاثرية

تعتبر عمليات التسجيل والتوثيق المعماري السابقة للمآذن الأثرية من المصادر الهامة أيضا عند الشروع فى الترميم للمآذن الأثرية وخاصة فى حالة فقدان أجزاء منها وسوف نقوم بتناول بعض اللوحات المعمارية التى تسجل وتوثق المآذن الأثرية فى فترات زمنية مختلفة وكذلك قامت هيئة الآثار المصرية ( المجلس الأعلى للآثار حاليا ) بعمل بعض مشروعات تكملة المآذن الناقصة والتى لم يتم تنفيذها فعليا ومنها مئذنة ايدمر البهلوان ومئذنة أم السلطان شعبان ومئذنة خايربك ومئذنة قانيباى الجركسي وغيرها وفيما يلي عرض لبعض لوحات التسجيل المعماري السابقة للمآذن الأثرية وكذلك بعض المشروعات التى تم عملها للمآذن الأثرية الناقصة ولم يتم تنفيذها .

---

(1) Comite De Conservation Des Monuments D'l Art Arabe , Exercices 1936-1940 , Le Caire, Imprimerie Nationale , Bulak , 1944 , Pl. VIII , Pl. IX

## (١) مئذنة أيدمر البهلوان    أثر رقم (٣٢)

يتوفر عن هذه المئذنة التى يتم ترميمها حاليا ضمن مشروع تطوير وترميم آثار القاهرة التاريخية الكثير من المعلومات عن أعمال الترميم والصيانة السابقة التى أجريت لها كما تم ذكره وبالاضافة لذلك توجد العديد من اللوحات المعمارية للمئذنة احدى هذه اللوحات مؤرخة ( ١٣ صفر سنة ١٣٠١ هـ ) وهى تناظر عام ١٨٨٤ م وبها رسم للواجهة الغربية لمسجد أيدمر البهلوان وتظهر من خلاله المئذنة كاملة وقمتها عبارة عن جوسق محمول على ثمانية أعمدة لوحة رقم (٣١) وكذلك رسم يمثل الواجهة البحرية (الشمالية) لمسجد أيدمر البهلوان ، تليها لوحة توضح قطاع فى المئذنة لوحة رقم (٣٢) ثم نجد لوحة تؤرخ بعام ١٨٩٣ م تمثل قطاع فى المئذنة موضح عليه ارتفاعاتها ويظهر فيه جوسق المئذنة وقمتها كاملة .ثم نجد لوحتين بهما تصميم للجزء العلوى للمئذنة وهو الجوسق وربما تم تصميمه لترميم واستكمال هذا الجزء معماريا بعد انهياره أحد التصميمين يقوم على قاعدة مستديرة تثبت فيها ثمانية أعمدة تحمل الجوسق ، لوحة رقم (٣٣) والثانية تقوم على قاعدة مثمنة مثبت فيها ثمانية أعمدة تحمل الجوسق ، لوحة رقم (٣٤) ، كما تم الحصول على لوحة مؤرخة بعام ١٩٤٦ م يظهر فيها الواجهة الغربية لمسجد أيدمر البهلوان وتظهر فيها المئذنة وقد فقدت القمة المتمثلة فى الجوسق لوحة رقم (٣٥) والمئذنة الآن تحت الترميم وتم عمل عدة لوحات خاصة بمسجد أيدمر البهلوان تظهر فيها المئذنة ، إحدى هذه اللوحات تمثل قطاع فى المئذنة ونستطيع عن طريق المقارنة بينه وبين القطاع القديم والذى تم عمله عام ١٨٨٩ م معرفة مدى دقته ومعرفة مدى التغيير الذى حدث للمئذنة من عدمه ، لوحة رقم (٣٦) .

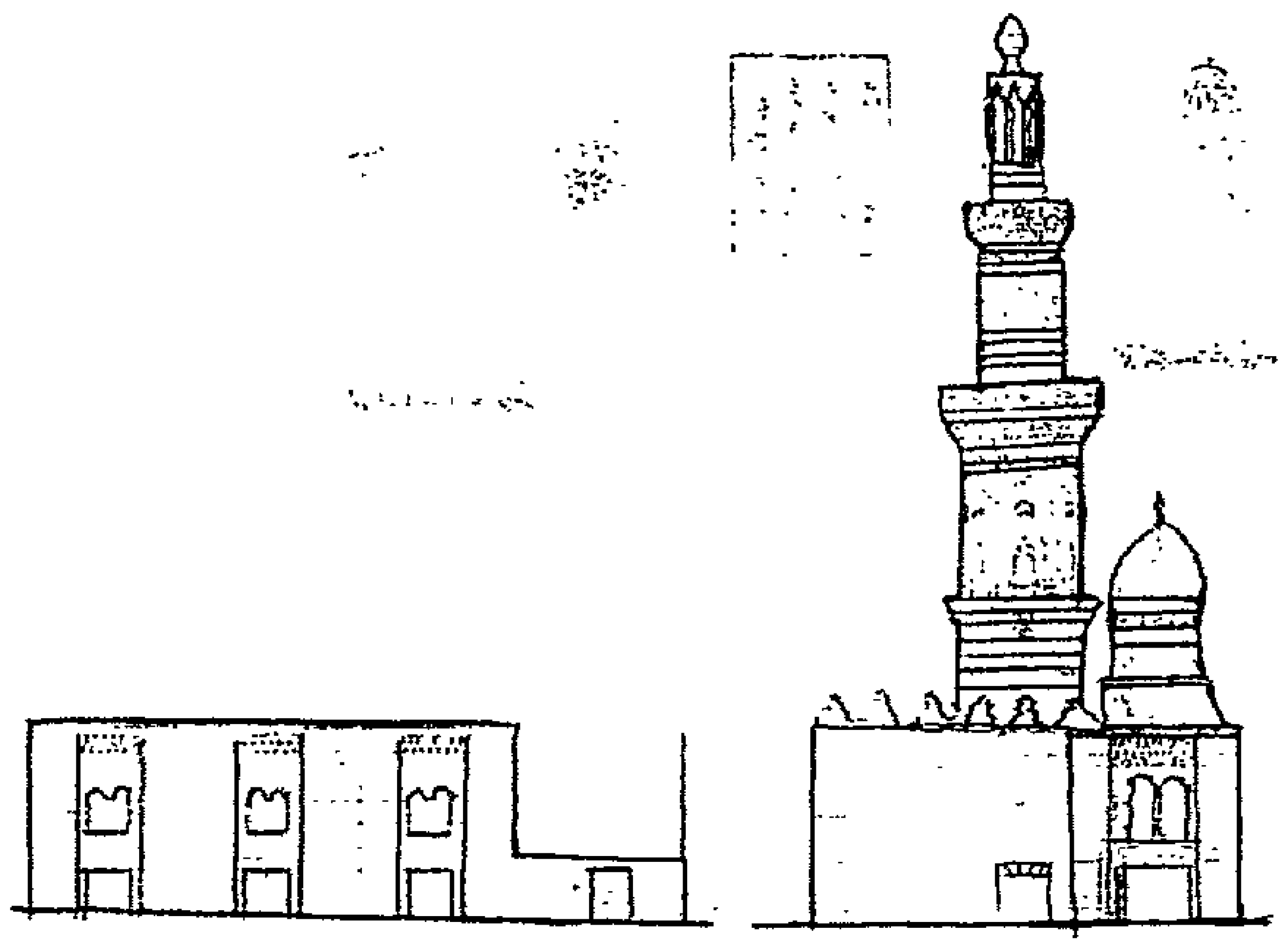
## (٢) مشروعات الاستكمال والترميم المعماري لبعض المآذن الأثرية

قام المجلس الأعلى للآثار ( هيئة الآثار سابقا ) بعمل بعض التصميمات أو المشروعات لاستكمال بعض المآذن الأثرية الناقصة وذلك طبقا للتكوين المعماري الأثري ومن الممكن الاستعانة بهذه المشروعات عند إجراء الترميم المعماري لهذه المآذن الأثرية ومن هذه المشروعات والتصميمات والتى لم تنفذ حتى الآن مشروع استكمال مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان ، لوحتين رقمى (٣٧) ، (٣٨) ومشروع استكمال مئذنة جامع خاير بك ، لوحتين رقمى (٣٩)،(٤٠) ومشروع استكمال مئذنة مسجد قانبياى الجركسي لوحة رقم (٤١) ، ومن اللوحات الأخرى التى توضح الشكل الأصلي لبعض المآذن الأثرية والتى تعرضت لفقدان بعض أجزائها وتآكلها فى الوقت الحالي ، مئذنة مسجد مغلباي طاز ، لوحة رقم (٤٢) حيث فقدت قمتها العثمانية المدببة كما يتضح من الصورة رقم (١٩) وكذلك مئذنة مسجد أحمد المهمندار والتى تعرضت لتآكل أجزاء من قمتها المدببة لوحة رقم (٤٣) كما يتضح من خلال صورة رقم (٢٤) .

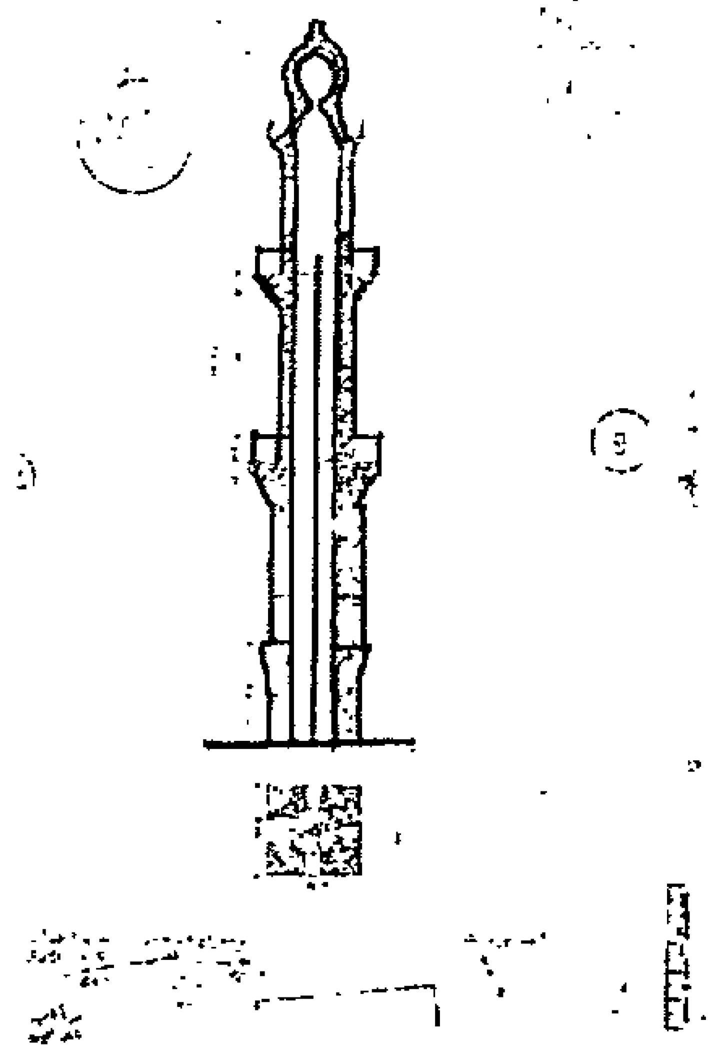
## خامساً : المصادر التاريخية والمراجع العلمية كمصدر للتوثيق للمآذن الأثرية

هناك العديد من المصادر التاريخية والمراجع العلمية القديمة التى تناولت بالذكر المآذن الأثرية من خلال الوصف الأثري والمعماري لها مع وجود لوحات معمارية وصور فوتوغرافية قد تكون نادرة وتوضح الشكل المعماري الأثري الأصلي للمآذن الأثرية ومن الممكن الاستعانة بذلك خلال عمليات الاعداد لخطط الترميم المعماري للمآذن الأثرية . ومن الأمثلة على ذلك مئذنة مدرسة خايربك حيث نشرت فى المراجع التاريخية[١] لوحتين للمئذنة إحداهما وهى لوحة رقم (٤٤) نجد بها المئذنة وقد ظهرت كاملة وتفقد جزءا صغيرا من قمتها وهى القمة البصلية

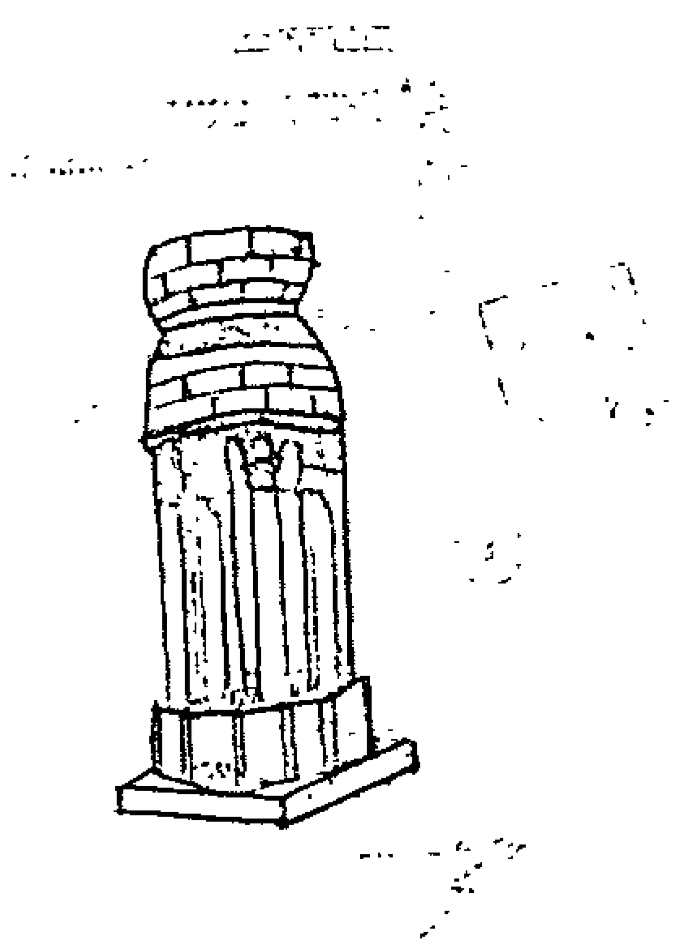
(١) سعاد ماهر : مساجد مصر وأولياءها الصالحون ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الجزء الرابع ، ١٩٨١ م ، ص١٨٦



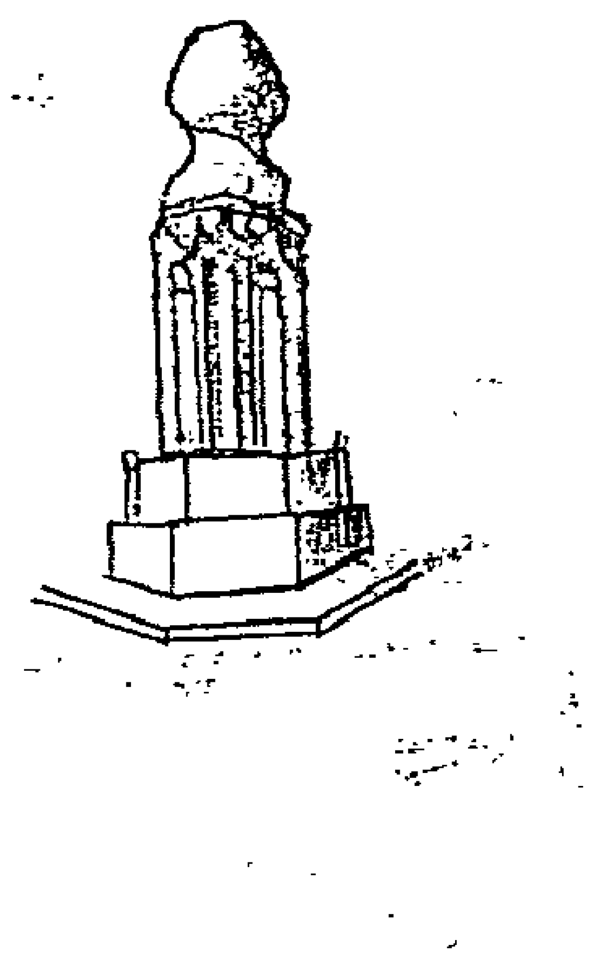
لوحة رقم ( ٣١ ) توضح الواجهة الغربية لمسجد أيدمر البهلوان



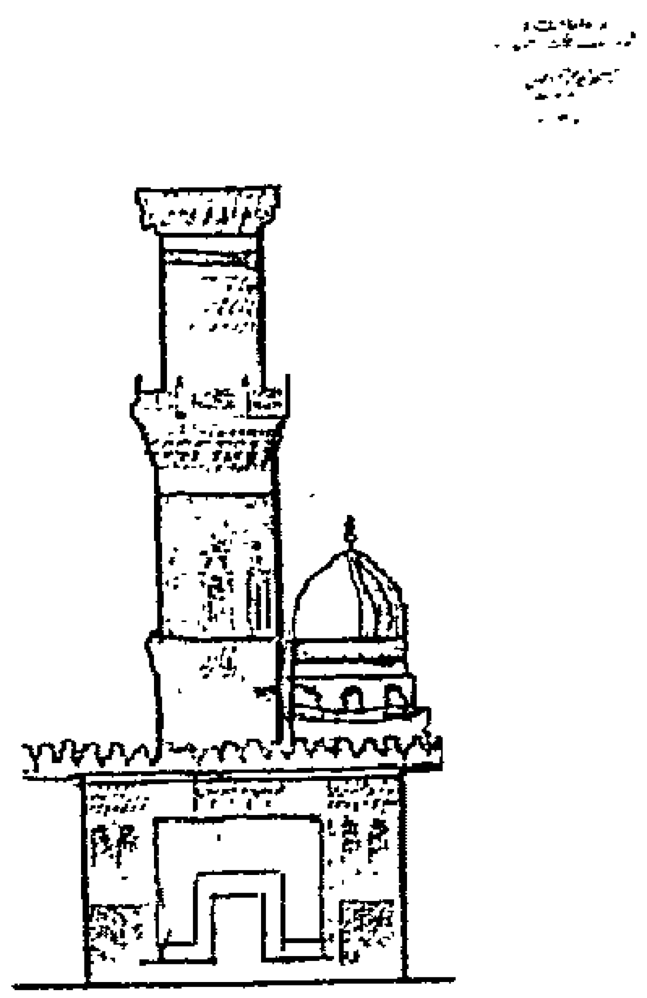
لوحة رقم ( ٣٢ ) توضح قطاع
في مئذنة أيدمر البهلوان



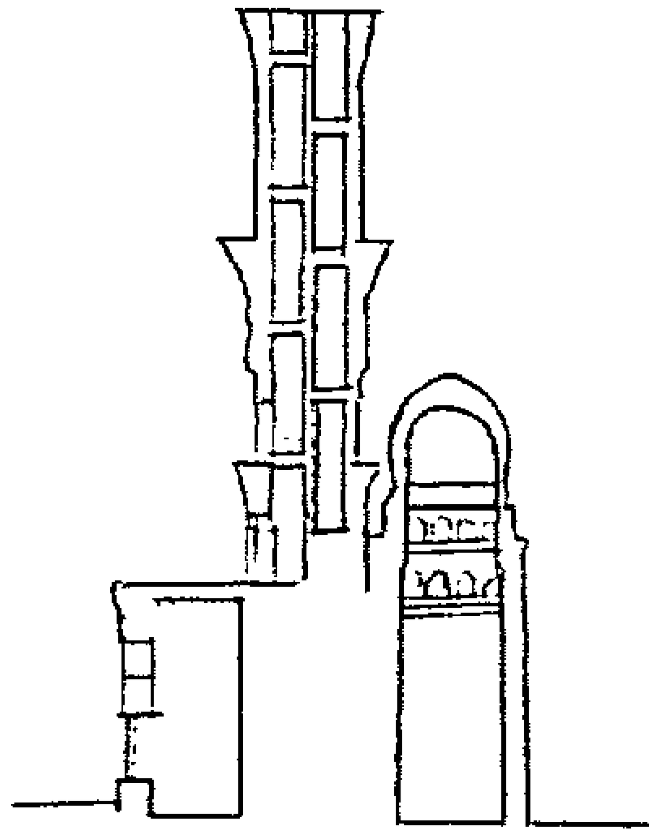
لوحة رقم ( ٣٣ ) توضح
تصميم لقمة مئذنة ايدمر البهلوان



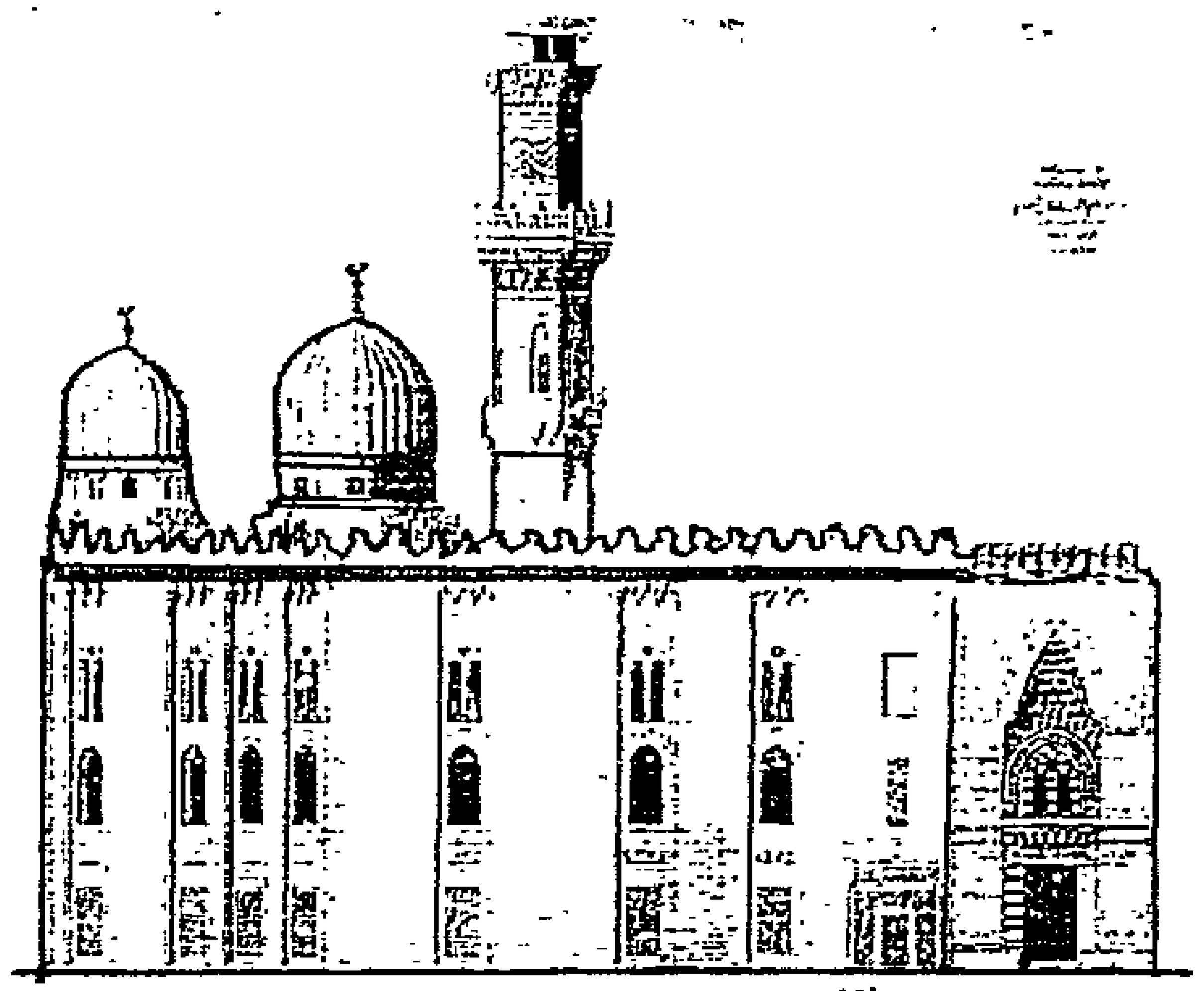
لوحة رقم ( ٣٤ ) توضح تصميم
اخر لقمة مئذنة أيدمر البهلوان



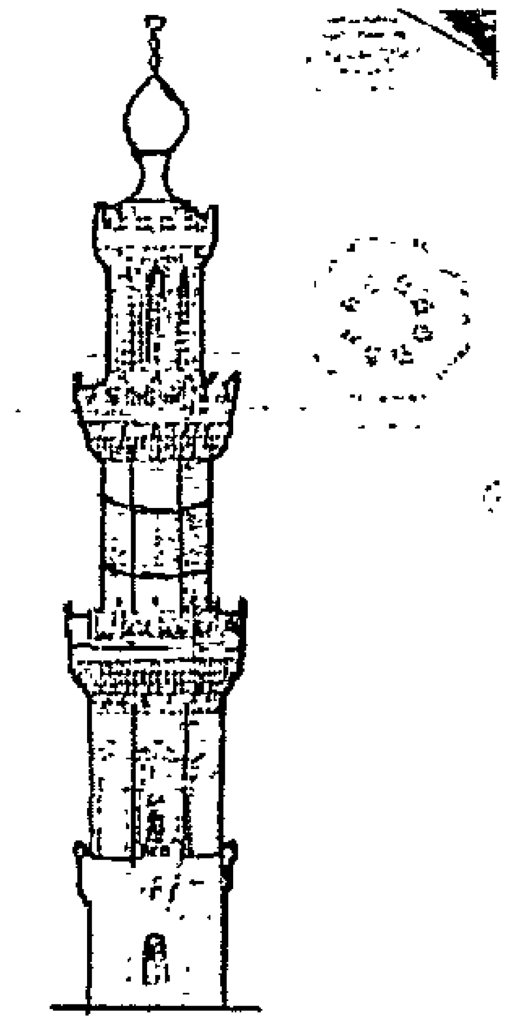
لوحة رقم ( ٣٥ ) توضح واجهة
مئذنة أيدمر البهلوان بدون الجوسق



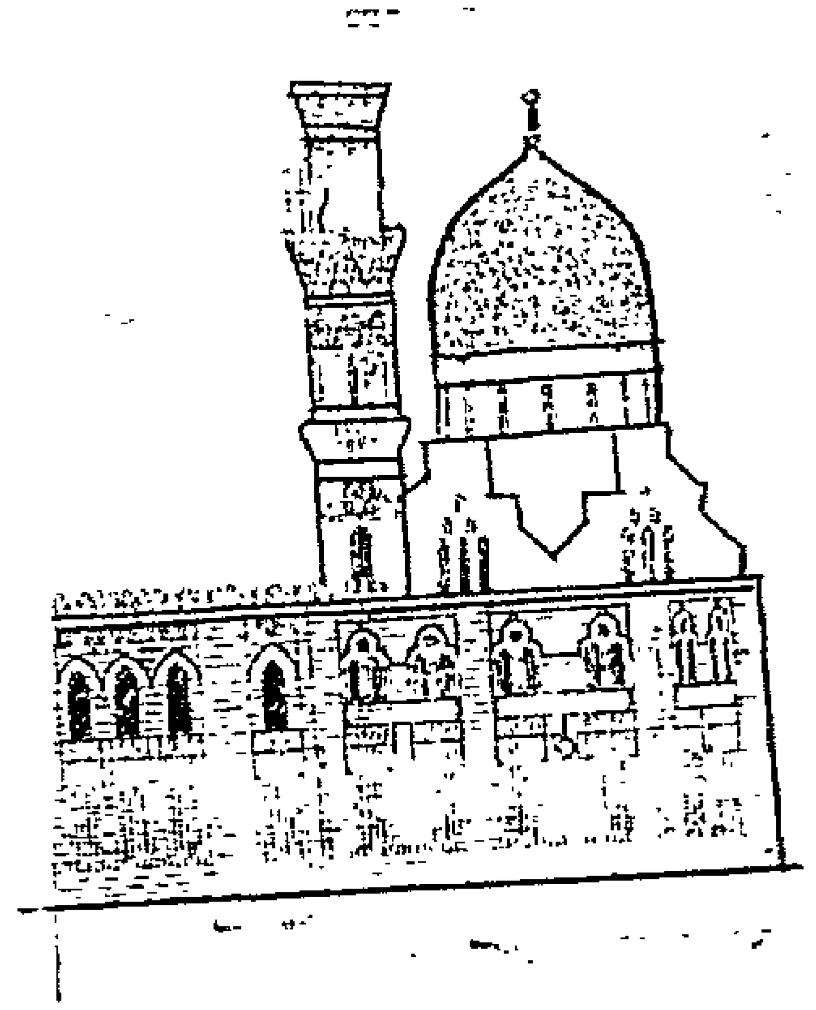
لوحة رقم ( ٣٦ ) توضح قطاع حديث
في مئذنة أيدمر البهلوان



لوحة رقم ( ٣٧ ) توضح واجهة مدرسة أم السلطان شعبان يظهر بها المئذنة بدون الجوسق

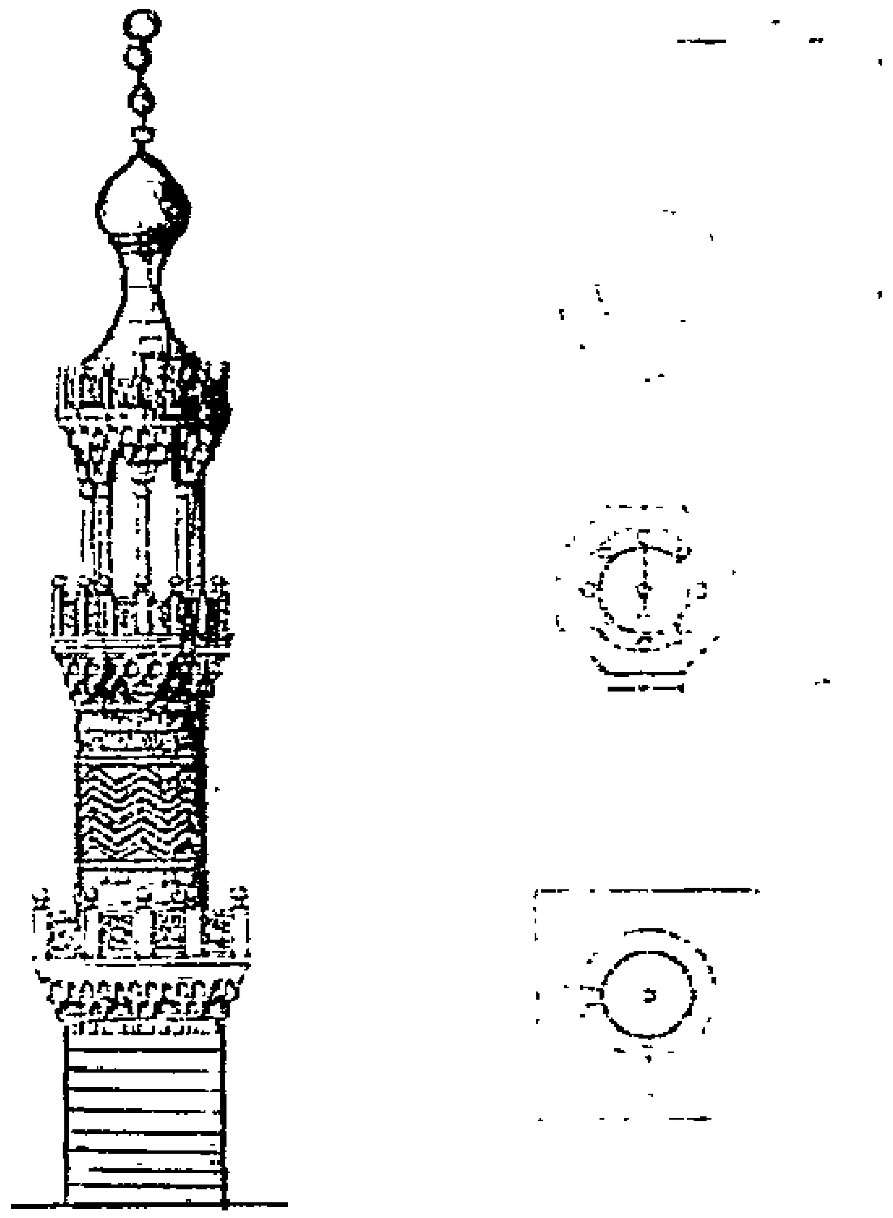


لوحة رقم ( ٣٨ ) توضح مشروع استكمال مئذنة مدرسة أم السلطان شعبان

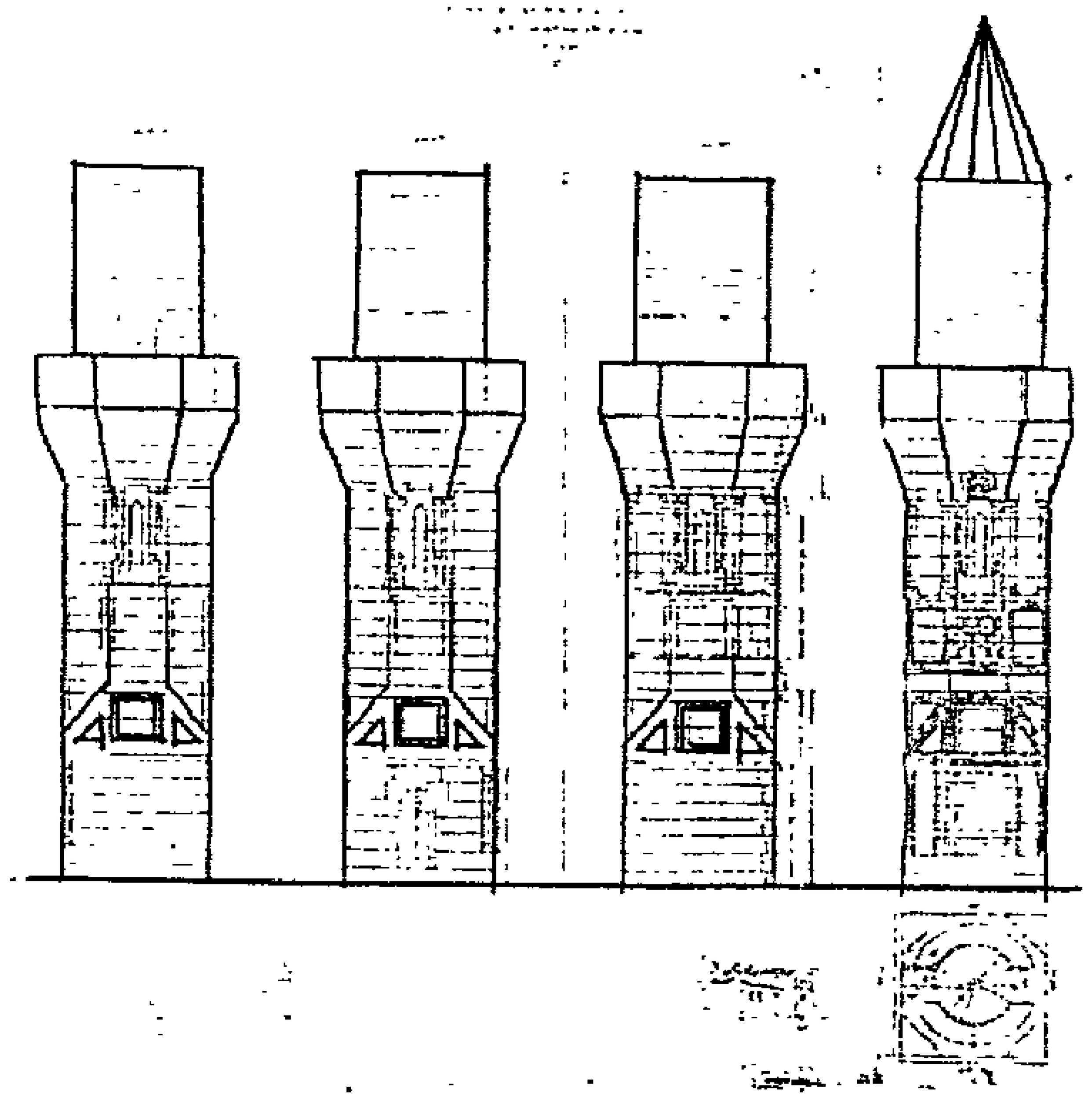


لوحة رقم ( ٣٩ ) توضح مئذنة خاير بك

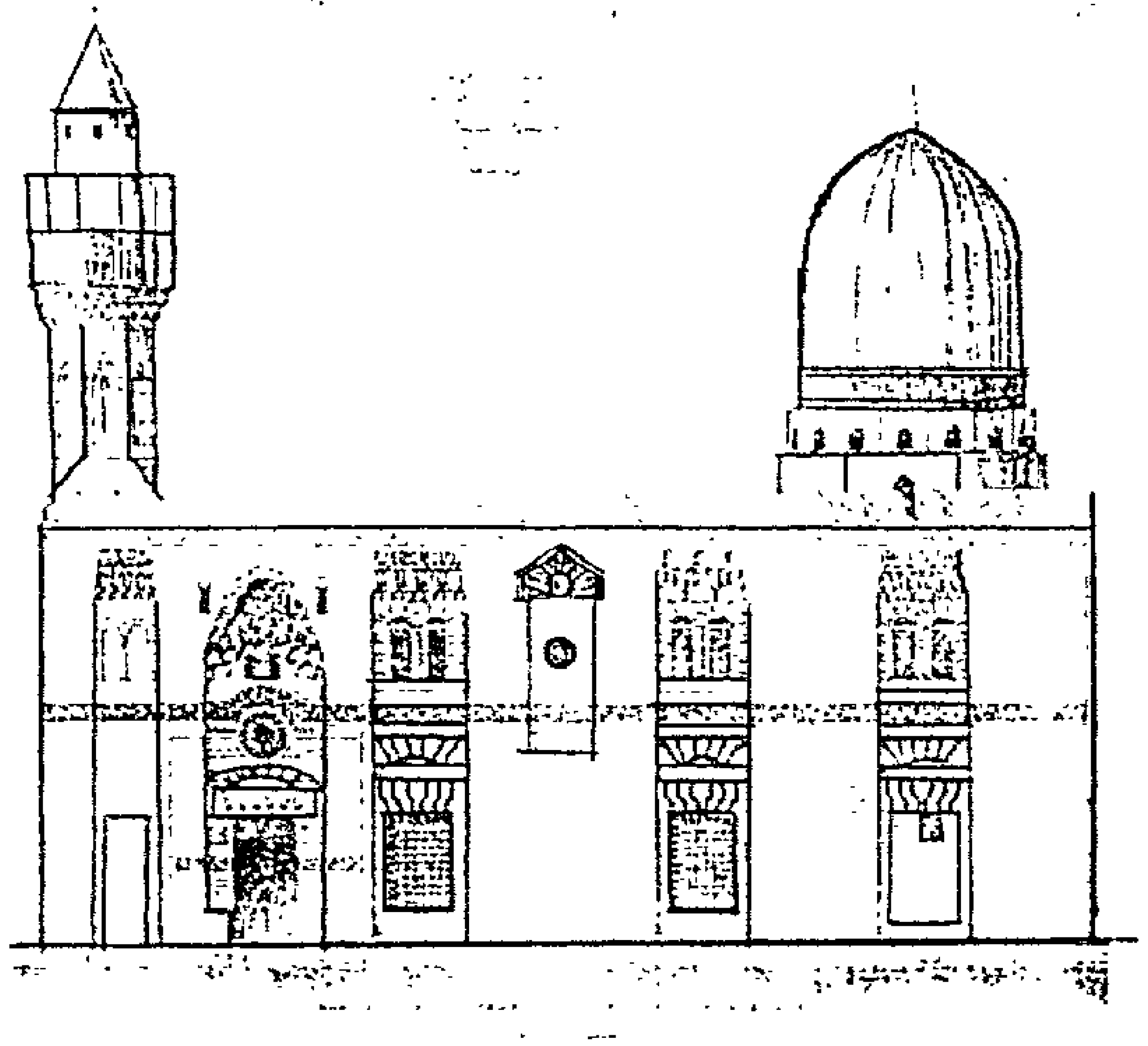
لوحة رقم ( ٤٠ ) توضح مشروع استكمال مئذنة خاير بك



لوحة رقم ( ٤١ ) توضح مشروع استكمال مئذنة قانيباي الجركسي



لوحة رقم ( ٤٢ ) توضح مئذنة مغلباي طاز



لوحة رقم ( ٤٣ ) توضح مئذنة أحمد المهمندار

التى تعلو الجوسق وبذلك استطعنا التعرف من خلال ذلك المرجع على الشكل المعماري الأثري الأصلي للمئذنة وفى لوحة أخرى ظهرت المئذنة كما هى موجودة الآن وقد فقدت منطقة الجوسق بعد انهيارها كما يتضح من اللوحة رقم(٤٥) ويتم الاستعانة باللوحتين السابقتين للمئذنة فى إجراء عمليات الترميم المعماري لها واستكمالها . وهذه اللوحة الكاملة للمئذنة رسمها بريس دفين Prisse d'avennes عام ١٨٧٧ م ، ومثال آخر مئذنتي مسجدي قانيباى الرماح بالقلعة والناصرية حيث نجد فى المراجع التى تؤرخ للآثار الاسلامية لوحة لمئذنة قانيباى الرماح بمسجده الكائن فى ميدان القلعة وقد رسمت عام ١٨٤٨ م وتظهر المئذنة المميزة بوجود رأسين لها ، لوحة رقم (٤٦) وقد تعرضت هذه المئذنة للتجديد بواسطة لجنة حفظ الآثار العربية عام ١٩٣٩ م على غرار المئذنة القديمة ويتضح ذلك من خلال لوحة رقم (٤٧) أما مئذنته بالناصرية بمنطقة السيدة زينب فقد تعرضت للإنهيار ويتم الآن إجراء عملية إعادة بناء لها باستخدام الكتل الحجرية الأثرية الخاصة بها مع استكمال الكتل الحجرية التى تلفت منها ولذلك فإن أى لوحات قديمة لهذه المئذنة تكون ذات أهمية كبيرة جدا أثناء إجراء عمليات الترميم المعماري لها وإعادة بنائها ومن هذه اللوحات نجد لوحة تمثل المدخل الرئيسي لمدرسة قانيباى الرماح بالناصرية تعلو المئذنة وقد قام برسمها بريس دفين Prisse d'avennes ونجد لوحة أخرى للمئذنة قبل انهيارها ونلاحظ فيها الاختلاف فى القمتين البصليتين لها حيث يظهر أنهما فقدتا ثم أعيد بنائهما مرة أخرى بشكل مخالف للشكل الأثري الأصلي لهما كما يتضح من اللوحتين رقمى (٤٨) ، (٤٩) ، ومن هذين المثالين يتضح لنا أهمية المراجع التاريخية للآثار فى دراسة عمليات الترميم المعماري للمآذن الأثرية حيث من المكن أن نجد صورا أو لوحات تبين التكوينات المعمارية الأصلية لهذه المآذن خاصة فى حالة انهيار بعض أجزاءها أو فقدانها .

## ٢- أعمال الترميم المعماري للمآذن الأثرية

هناك العديد من أعمال الترميم المعماري للمآذن الأثرية التى تجرى حسب حالة المآذن الأثرية ومنها :

### أ- استكمال الأجزاء الناقصة والمفقودة من التكوين المعماري للمآذن الأثرية

تشكل هذه العمليات استكمال منطقة الجوسق فى المآذن المملوكية التى فقدت جوسقها أو استكمال القمم العثمانية المدببة التى تآكلت أو فقدت بعض أجزائها . وفى هذا المجال نذكر أن المآذن المملوكية بحكم تكوينها المعماري وتغير قطاعاتها من المربع إلى المثمن ذو الفتحات ثم الدائري ثم الجزء الأعلى من المئذنة والذى يشتمل غالبا على ثمانية اعمدة تحمل الجوسق وهى تكون ذات عرضة كبيرة للتصدع والانهيار أثناء الزلازل بسبب تغير القطاعات فى الأجزاء المختلفة منها ، حيث يختلف تجاوب كل قطاع وسلوكه الانشائي فى أماكن الانتقال بين القطاعات مما يترتب عليه تغيير الانحرافات إضافة إلى أن هذه المآذن منفذ بها مقرنصات حجرية ضخمة أسفل شرفات المآذن بما يحدث زيادة كبيرة فى ثقل القطاع أسفل الشرفة مع ضعف القطاع أعلى الشرفة لتنفيذ فتحات به مما يسبب زيادة لاحتمالات التصدع والانهيار خلال الزلازل وذلك يختلف عن المآذن العثمانية الطراز ذات القطاع الدائري الثابت على كامل ارتفاعها والتى يتجاوب قطاعها بمرونة مع الموجات الزلزالية دون التواء بالاضافة إلى احتمال وجود أخطاء فى بناء المآذن المملوكية ذات الجوسق وذلك فى انحراف بعض قطاعات المئذنة عن القطاعات الأخرى نتيجة اختلاف الشكل الهندسي لهذه القطاعات ما بين مربع ومثمن ودائرى عكس المئذنة العثمانية التى تقل جدا احتمالية وجود أخطاء فى عملية بناءها. ولذلك نجد الكثير من المآذن المملوكية التى فقدت قمتها أو جوسقها ومن أمثلتها مئذنة أيدمر البهلوان ومئذنة خايربك ومئذنة أم السلطان شعبان ومئذنة يشبك من مهدى ومئذنة مغلباي طاز وغيرها وتتبع أهمية عمليات الاستكمال من المحافظة على الأثر من الفناء بفقدان أجزاءه الجزء تلو الآخر أو

القضاء على نقاط الضعف بالمبنى (١) ولكن فى حالة المآذن الأثرية المملوكية التى فقدت جوسقها فإن هذا الجزء فى الأصل كان منطقة ضعف انشائي فى المئذنة نظرا لاستناد الجوسق على ثمانية أعمدة ولذلك فقد كان عرضه أكثر من أى جزء آخر بالمئذنة للانهيار بفعل الحركة الفجائية الناتجة عن الزلازل ولكن من الممكن أن يتم استكمال الجوسق للمآذن المملوكية على أساس عدة نقاط هى :-

١- أن يتوفر مصدر من أحد مصادر التوثيق السابق ذكرها للمآذن والتى يمكن التعرف منها على الشكل الأصلي والتكوين المعماري الأثري للمئذنة ومن الممكن أن يتم المقارنة بين طراز هذه المئذنة وطرز المآذن المشابهة لها والموجودة بشكل كامل للاستقرار على رأى أثري للتكوين المعماري لقمة المئذنة المفقودة وإن لم تتوصل دراسات المقارنة مع المآذن الأثرية المشابهة لنتيجة مقبولة أثريا فيفضل عدم استكماله حيث يجب التوقف عندما يبدأ التخمين .

٢- فى حالة الاستقرار على استكمال الجوسق الخاص بالمآذن الناقصة يجب تلافي الأخطاء السابقة والتى أدت إلى انهيار الجوسق حيث يجب أن يتم التثبيت الجيد للأعمدة الرخامية الحاملة للجوسق حيث يتم تثبيتها من أسفل ومن أعلى بواسطة قطاعات من الحديد الصلب المعزول حتى لا يتعرض للصدأ مع استخدام أعمدة ذات أقطار ملائمة من الناحية الانشائية لحمل الجوسق ويفضل هنا بناء دعامات حجرية يدمج ضمنها الأعمدة الحاملة للجوسق بحيث لا تكون بمفردها هى المسئوله عن حمل الجوسق وبحيث تشكل وحدة متماسكة قادرة على تحمل الحركة التى قد تنشأ عن حدوث زلازل .

٣- يتم تصميم الجوسق بالشكل الأصلي له والابعاد والمقاسات الأصلية ، ثم يتم اختيار نوعية مشابهة للأحجار المشيدة بها المئذنة مع إجراء اختبارات للخواص الفيزيائية والميكانيكية لاختيار أنسب أنواع الأحجار ، ثم يتم نحت وتشكيل هذه الأحجار وتجميعها بشكل كامل دون استخدام مونات على الأرض وعند التأكد من عمل هذا الجزء ونحته وتجميعه بالشكل الصحيح وإعداد الأعمدة الرخامية بالقطاعات المناسبة يتم تثبيت الأعمدة فى المستوى الأخير من المئذنة ثم يتم بناء الجوسق فوقها مدماك بمدماك حتى ننتهى منها باستخدام المونة المناسبة للبناء والتى غالبا ما تحتوى على الرمل والجير بشكل أساسي وبنسب ملائمة مع تكحيل العراميس بين الكتل الحجرية وتشطيبها بالشكل الملائم مع عمل الدعامات الحجرية السابقة الذكر للأعمدة لتقويتها وزيادة تحملها انشائيا وتأمينها من الانهيار مرة أخرى .

إلى جانب ذلك فانه يمكن استكمال القمم العثمانية المدببة للمآذن الأثرية التى تعرضت للانهيار مثل القمة العثمانية لمئذنة مغلباى طاز لوحة رقم (١٩) على الرغم من أن هذه المئذنة تتبع الطراز المملوكى ولكن تم عمل قمة عثمانية مدببة لها خلال العصر العثماني لذلك فمن الأفضل فى حالة توفر سند تاريخي أو مصدر توثيق لهذه المئذنة يوضح شكل القمة الخاصة بها استكمال قمتها طبقا للشكل المملوكي الأصلي لها وهناك أمثلة أخرى عديدة لمآذن مملوكيه تحتوى على قمة عثمانية تم عملها خلال العصر العثماني ومن هذه الأمثلة مئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط والتى اعادت لجنة حفظ الآثار العربية لها قمتها المملوكية خلال الفترة من عام ١٩٣٦ م إلى عام ١٩٤٠ م أما فى حالة عدم توفر هذه الأدلة التاريخية فيجب ترميم هذه القمة طبقا للأصل العثماني لها المعروف والموثق وكذلك المآذن التى تآكلت أو فقدت أجزاء كبيرة من قمتها يجب استكمالها وإعادتها إلى شكلها الأثري المتكامل باستخدام مصادر

---

(١) السيد محمود البنا : دراسة لأسس وقواعد استكمال الأجزاء الناقصة من المبانى الأثرية " تطبيقا على بعض المبانى الأثرية بمدينة القاهرة " مجلة كلية الآثار ، العدد السابع ، ١٩٩٦ م ، ص ٣٢٣

التوثيق والتسجيل الموجودة وبنفس مكونات ومواد البناء الأصلية لها ومن أمثلة هذه المآذن مئذنة أيتمش البجاسي ومئذنة أحمد المهمندار كما هو موضح بالصورتين رقمي (٢١) ، (٢٤)

## ب ــ أعمال الفك وإعادة البناء للمآذن الأثرية

في بعض الحالات يتعذر تنفيذ الحلول الهندسية أو الإنشائية لترميم وعلاج جزء أو أكثر من المئذنة الأثرية وهي قائمة كما هي ولذلك قد تلجأ إلى عمليات الفك وإعادة البناء كحل استثنائي يجب ألا نلجأ إليه إلا في حالة الضرورة القصوى بعد التيقن تماما من عدم وجود حل آخر بديل ويحدث ذلك في حالة ميل المآذن بمقدار كبير قد يؤدي إلى انهيارها أو في حالة تلف التربة وعدم قدرتها على تحمل أحمال المئذنة الواقعة عليها وهبوطها خاصة عندما يكون الهبوط غير منتظما وبسبب ميل المئذنة ، وعلى ذلك يجب اتخاذ كافة التدابير والاحتياطات التي تضمن إعادة بناء وتركيب المكونات التي تم فكها طبقا لموضعها الأصلي بكل دقة ولذلك تتبع الخطوات الآتية :

١) عمل دراسة متكاملة ودقيقة لرفع وتسجيل وتوثيق الوضع الراهن للمئذنة شاملة لجميع أعمال التسجيل الفوتوغرافي والرفع المعماري للمئذنة [١].

٢) عمل نظام ترقيم لكل قطعة بالمئذنة يحدد موقعها بالضبط ويوقع هذا الترقيم على رسومات الرفع المعماري التفصيلية بكل دقة وعناية مع استعمال مادة للترقيم على القطع أو الكتل الحجرية يسهل إزالتها وبما لا يتسبب في أي أضرار أو تشوهات في القطع المرقمة ذاتها . ويجب وضع وتوقيع أرقام القطع الحجرية على كافة رسومات الرفع بحيث يظهر رقم القطعة الواحدة في رسمين معماريين مختلفين على الأقل مثل المساقط والواجهات أو القطاعات مثلا .

٣) التأمين التام للقطع المخزنة من أيه تأثيرات ضارة كالرطوبة حيث يجب ألا يتم تخزين الكتل الحجرية على الأرض بشكل مباشر وحمايتها من التلوث ويفضل تغطيتها برقائق البولى ايثيلين وعدم تحميل قطع الأحجار المخزنة أية اجهادات تفوق قدرة تحملها في موقعها الأصلي قبل الفك .

٤) تحديد أسلوب عمل فرم وقوالب لكافة القطع التي تتطلب ذلك قبل فكها مثل الزخارف أو المقرنصات أو الحليات وما شابه ذلك بحيث تعمل هذه الفرم أو القوالب من مادة حساسة وقوية في ذات الوقت وتتخذ كافة التدابير لتسليح تلك القوالب وتقويتها وتعامل هذه الفرم والقوالب بمثل معاملة قطع الأثر أو المئذنة ذاتها في النقل والتخزين وخلافه .

٥) إجراء عملية فحص لاختبار صلاحية كافة الكتل الحجرية المفكوكة أولاً بأول لاستبدال الكتل الحجرية التالفة والمتهالكة والتي لا تصلح لإعادة البناء مرة أخرى حيث من الممكن أن تكون قد تلفت بفعل الأملاح أو التلوث الجوي أو الأمطار وغيرها من عوامل التلف.

٦) ربط بداية تسلسل الترقيم بروبير ثابت مع تحديد الإحداثيات اللازمة لضمان إعادة تركيب القطع في مواضعها وتوجيهاتها بكل دقة وخاصة العناصر الدائرية أو المنحنية وما إلى ذلك .

٧) يتم رص مداميك الأحجار في أماكن تخزينها بمجرد فكها كما كانت قبل فكها في شكل دائري كل مدماك على حدة مما يكفل إعادة بناء المئذنة كما كانت مرة أخرى .

---

(١) معاذ أحمد عبد الله وعلى غالب أحمد : دليل إعداد مشروعات صيانة وترميم الآثار ، هيئة الآثار المصرية ، وزارة الثقافة ، ١٩٩١م ، ص٢٢.

٨) دراسة وتحديد إجراءات الفك بحيث يتم أفقياً من أعلى ، مدماكاً بمدماك بكل حرص مع تغليف القطع الحجرية بالبولى ايثيلين لضمان سلامتها أثناء التنزيل وحتى التخزين ويتبع نفس الأسلوب عند إعادة البناء مرة أخرى حيث يتم إعادة البناء من اسفل إلى أعلى مع دراسة وتحديد مراحل الفك بحيث تتناسب مع طاقة العمل وأن تكون مواضع التوقف المرحلى عند مناطق آمنه فى المئذنة وبشكل عام تحدد مواقع التوقف بمراحل عكسية لعملية البناء والإنشاء للمئذنة بمستوياتها المختلفة ، هذا مع اتخاذ كافة احتياطات الوقاية اللازمة للأجزاء التى لم تفك بعد وحمايتها لحين فكها وتخزينها .(١)

٩) يجب توضيح علاقة التجاور فى موضع القطعة المرقمة أى ماذا يوجد على يمينها وعلى يسارها وفوقها وأسفلها وهكذا ، مع ضرورة تحديد سمك المونة بالضبط فى كل جوانب القطعة ومقاسات ومواصفات القطع والأجزاء التى يصعب إعادة استخدامها أى القطع التى ستتبدل ، كما بالشكل رقم (٢٧) .

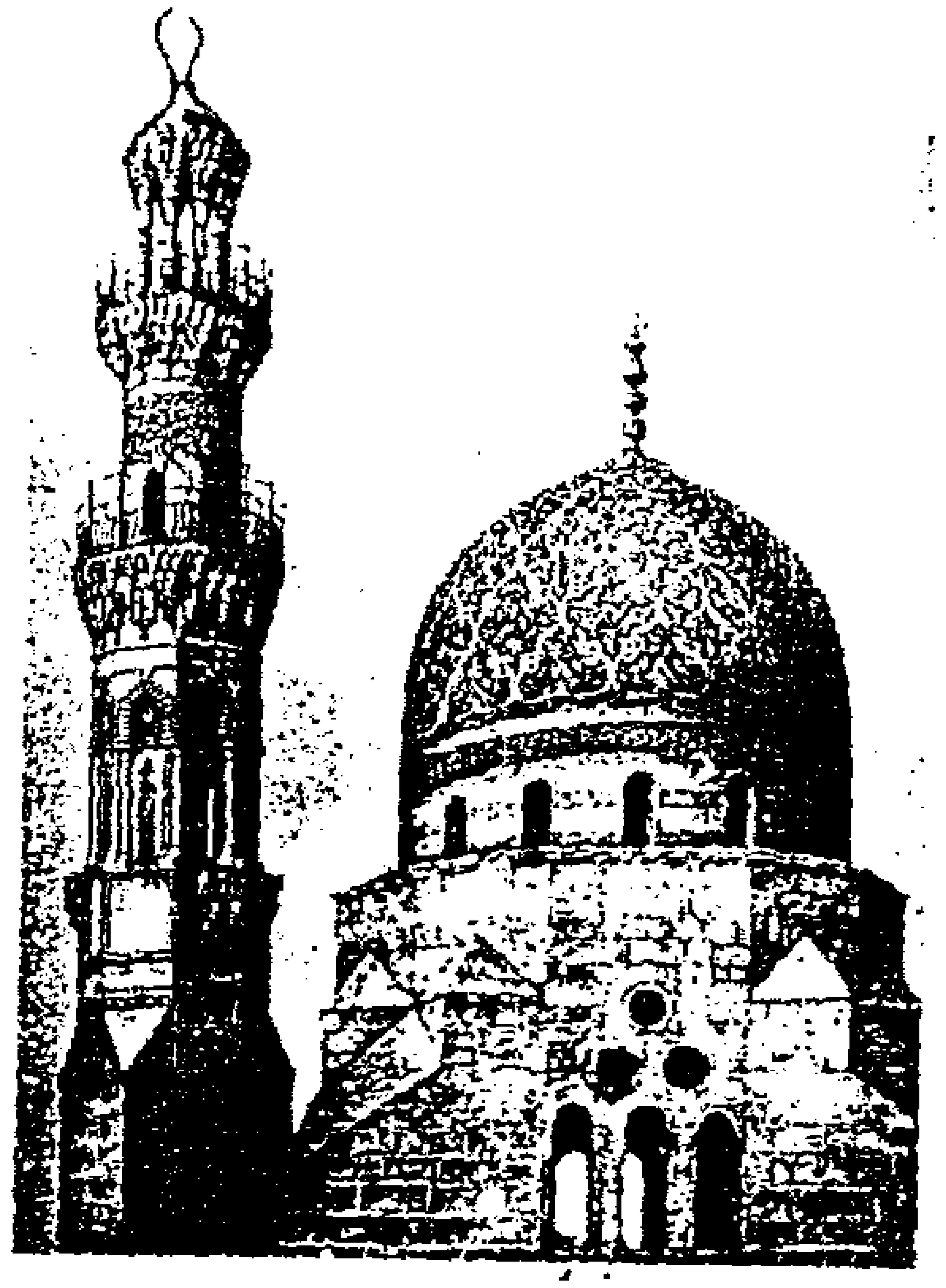
ونذكر على سبيل المثال بعض المآذن التى تم فكها بسبب ميلها بمقدار شديد يهدد بانهيارها ومن هذه المآذن مئذنة مسجد حسن باشا طاهر لوحة رقم (٥٠) وقد تم تخزينها بالمسجد على حوامل معدنية حيث تم تخزين الكتل الحجرية بعد عمل ترقيم بسيط لها بحيث تم تخزين كل مدماك فى رف معدنى ضمن الحوامل المعدنية خاص به بدون عمل تغليف من أى نوع لها وبدون تخزينها بشكل دائرى صحيح طبقاً لوضعها قبل الفك مما قد يؤدى إلى وجود صعوبة شديدة عند إعادتها مرة أخرى وبناءها ومن خلال تقييم هذا المثال نجد أنه الفك يتم بطريقة غير علمية إلى حد كبير ولا يجب أن تتبع مع المآذن الأثرية وقد تؤدى إلى نتائج خطيرة ولتوضيح ذلك نذكر مثالاً آخر ، هو لمئذنة مسجد الأمير حسين (العصر المملوكى البحرى) ، وهى تقع بحارة الأمير حسين من حارة المناصرة بشارع بورسعيد بمنطقة باب الخلق وهذه المئذنة تم فكها عام ١٩٨٤م وذلك بسبب ميلها الشديد عن المستوى الرأسى خوفاً من انهيارها وقد تم عمل قوالب لزخارفها الجصية (٢) وتحتفظ هيئة الآثار بهذه النسخ وللأسف لم يتم إعادة بناء هذه المئذنة حتى الآن وتشير الصورتين رقمى (٢٥) ، (٢٦) إلى موقع المئذنة بجامع الأمير حسين وبعض الكتل الحجرية الخاصة بالمئذنة والخالية من الزخارف والتى لم يتم تخزينها وهذا مثال سيئ لفك المآذن دون تحرى الأسلوب العلمى سواء فى الفك أو فى التخزين مما قد يؤدى إلى ضياع هذه المئذنة وضياع الكثير من الكتل الحجرية الخاصة بها وربما عدم إمكانية إعادة بناءها مرة أخرى .

وربما تتم عملية إعادة البناء لمآذن لم يتم فكها ولكنها تعرضت للانهيار ويوجد مثال حى على ذلك وهو مئذنة مسجد قانيباى الرماح بالناصرية بمنطقة السيدة زينب حيث تعرضت هذه المئذنة للانهيار مع جزء كبير من المسجد وقد تم تخزين الكتل الحجرية الخاصة بالمئذنة وبالمسجد ولكن للأسف أيضاً بلا أسلوب علمى يحافظ على هذه الكتل الحجرية بخلاف أن انهيارها المفاجئ لم يتيح الفرصة لترقيمها وتسجيلها وتوثيقها بشكل علمى مما يؤدى إلى وجود صعوبة شديدة عند إجراء عملية إعادة البناء لها وقد قام المجلس الأعلى الآثار بعمل دراسات للتربة المنشأ عليها المسجد والتى كانت سبباً فى انهياره ونظراً لضعف التربة وسوء حالة الأساسات فقد تم فك أحجار بقية أجزاء المسجد وتخزينها ثم القيام بمعالجة التربة وتدعيم الأساسات بواسطة الخوازيق الأبرية Micropiles ثم تم البدء فى عمليات إعادة البناء للمسجد والمئذنة كما يتضح من الصورة رقم(٢٧).

---

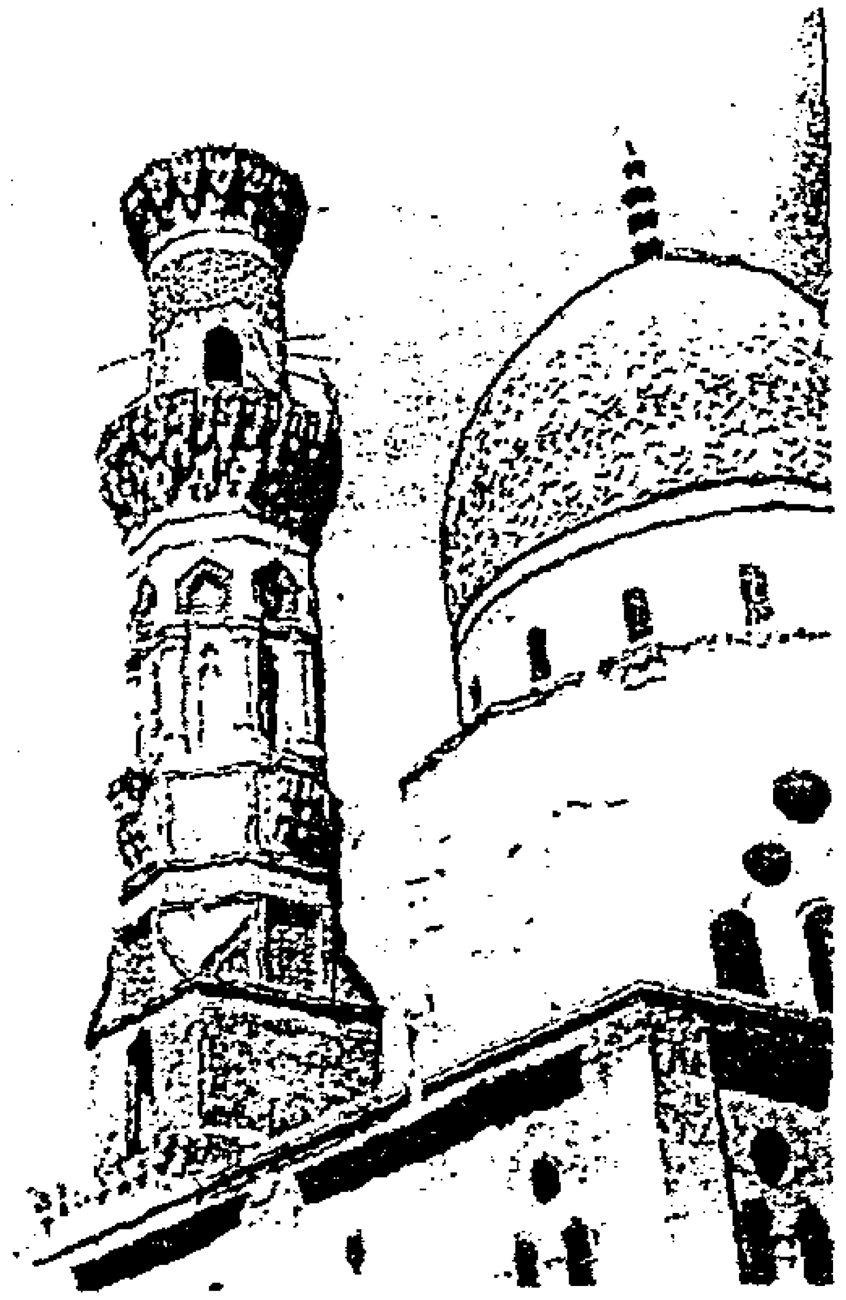
(١) معاذ أحمد وعلى غالب : دليل إعداد مشروعات صيانة وترميم الآثار ، هيئة الآثار المصرية ، وزارة الثقافة ، ١٩٩١م، ص٢٣ .

(٢) شاهندة فهمى كريم : جوامع ومساجد أمراء السلطان الناصر محمد بن قلاوون ، رسالة دكتوراه، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٧م ، ص١٣٥ .

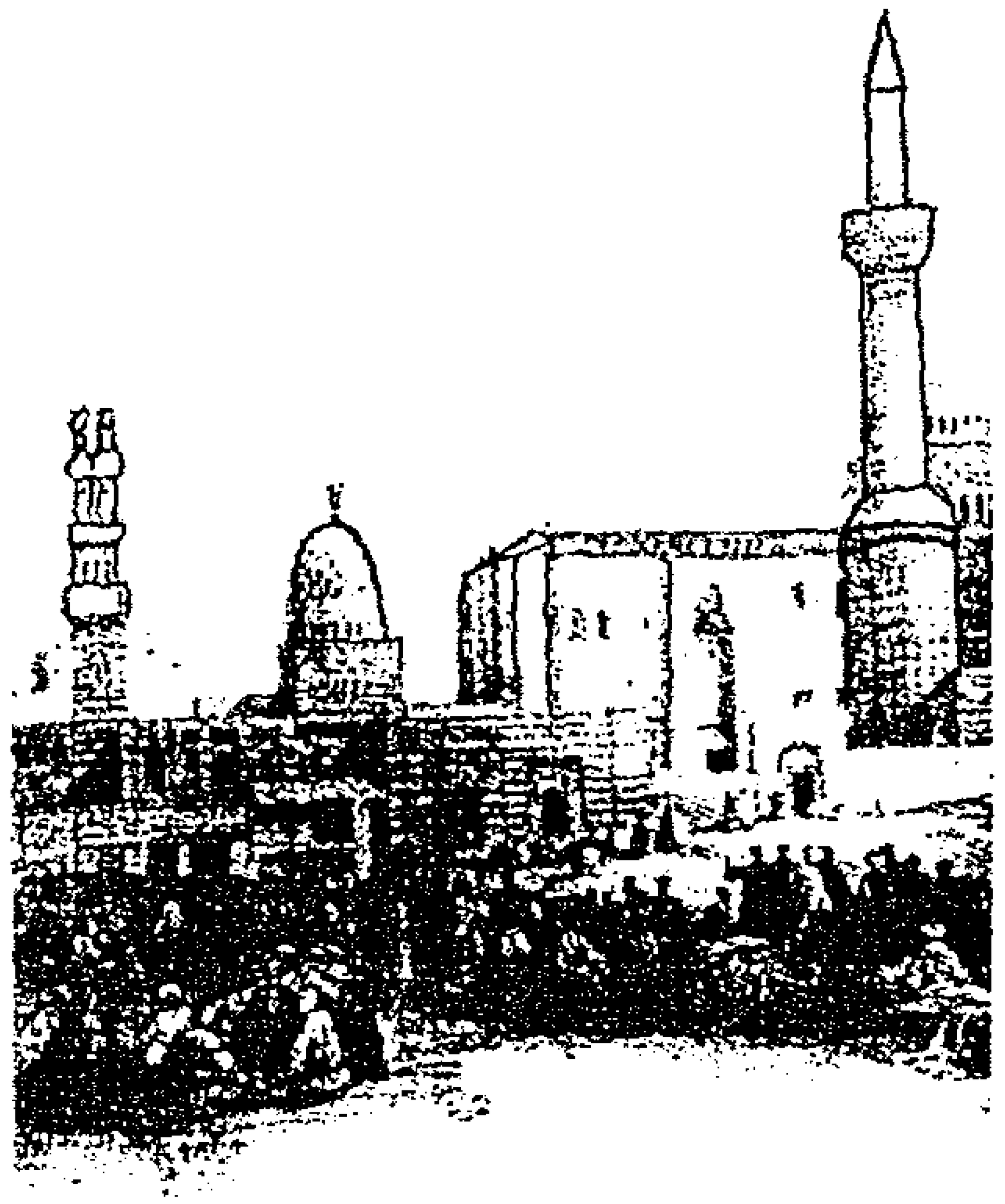


لوحة رقم ( ٤٤ ) توضح مئذنة خاير بك كاملة

رسمت عام ١٨٧٧م

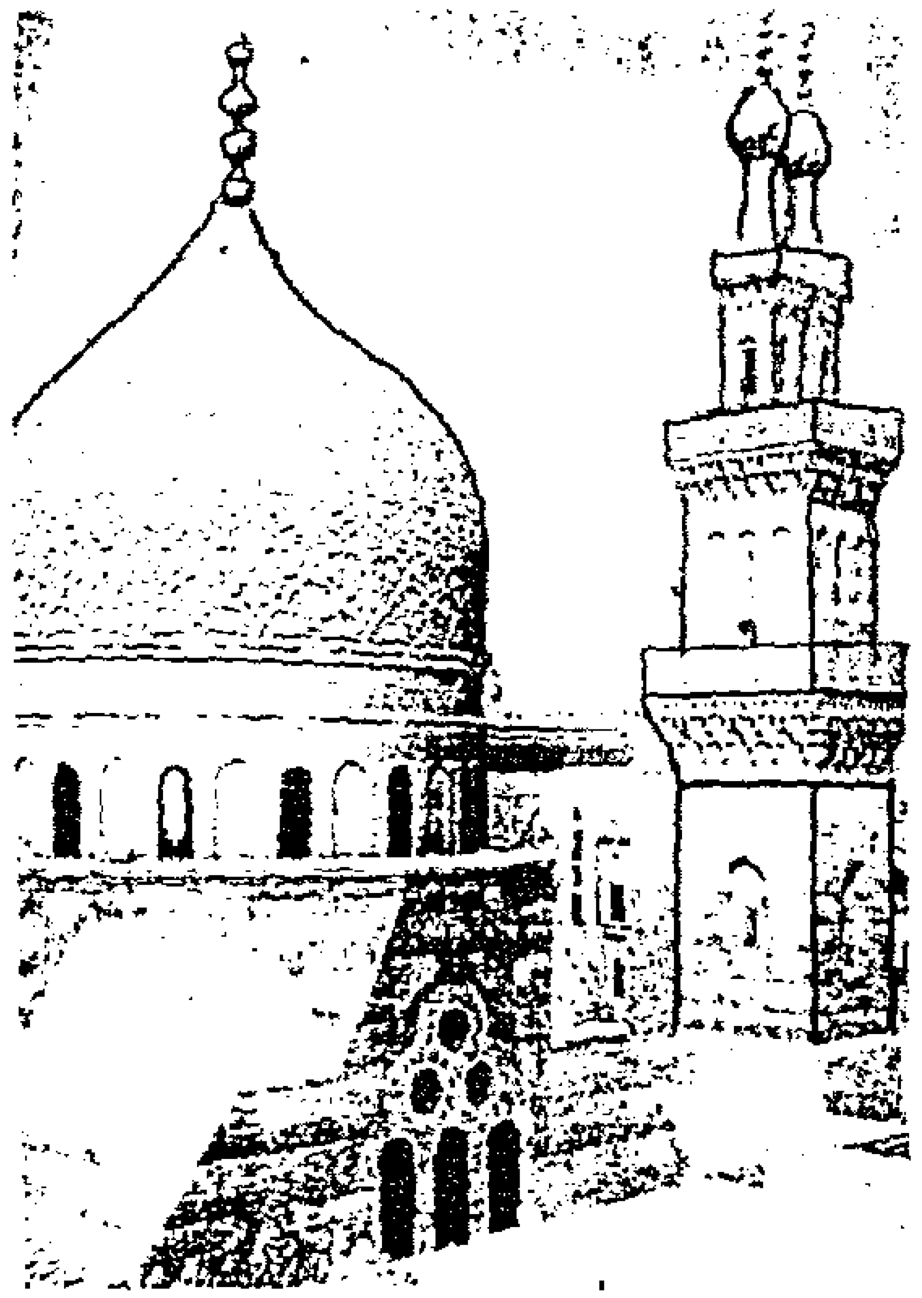


لوحة رقم ( ٤٥ ) توضح مئذنة خاير بك بدون الجوسق

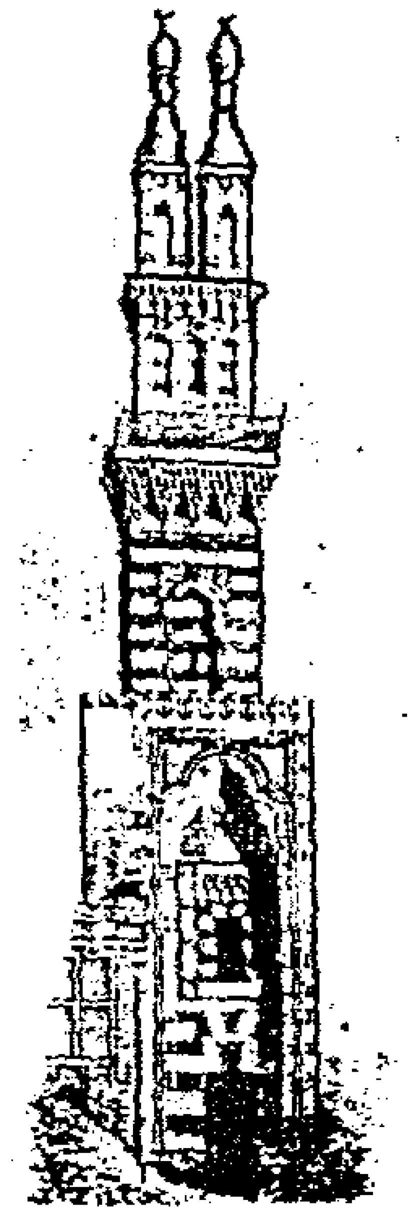


لوحة رقم ( ٤٦ ) توضح مئذنة قانيباي الرماح بالقلعة

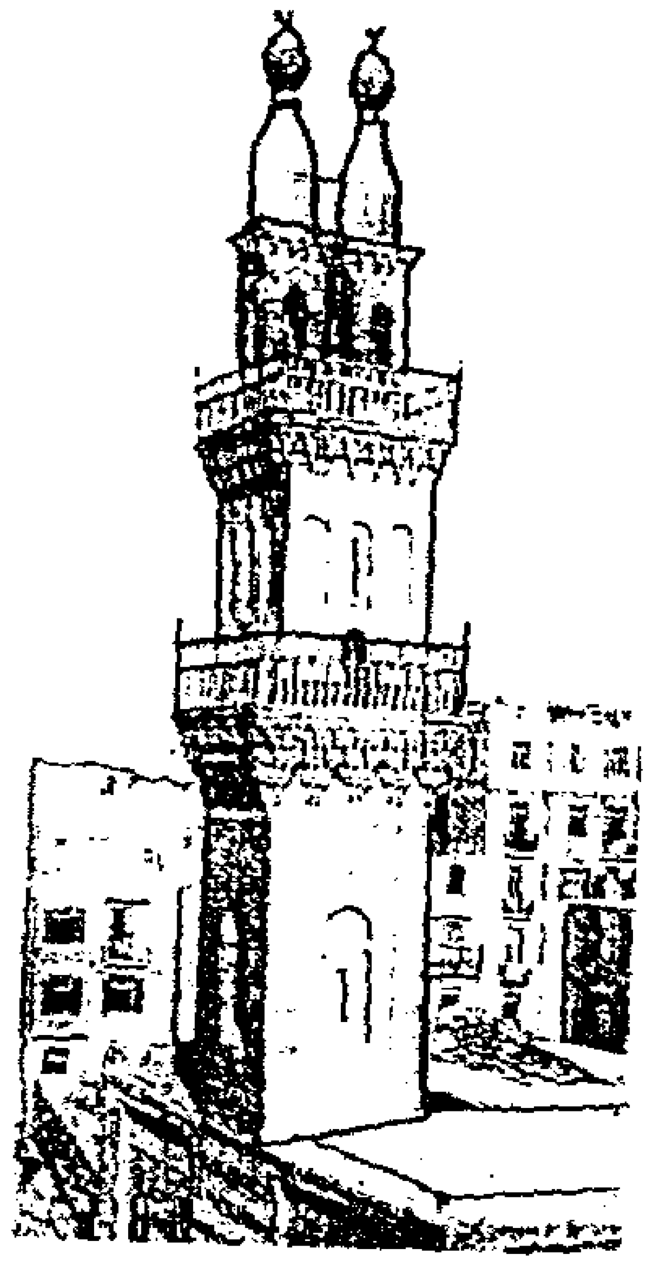
رسمت عام ١٨٤٨م



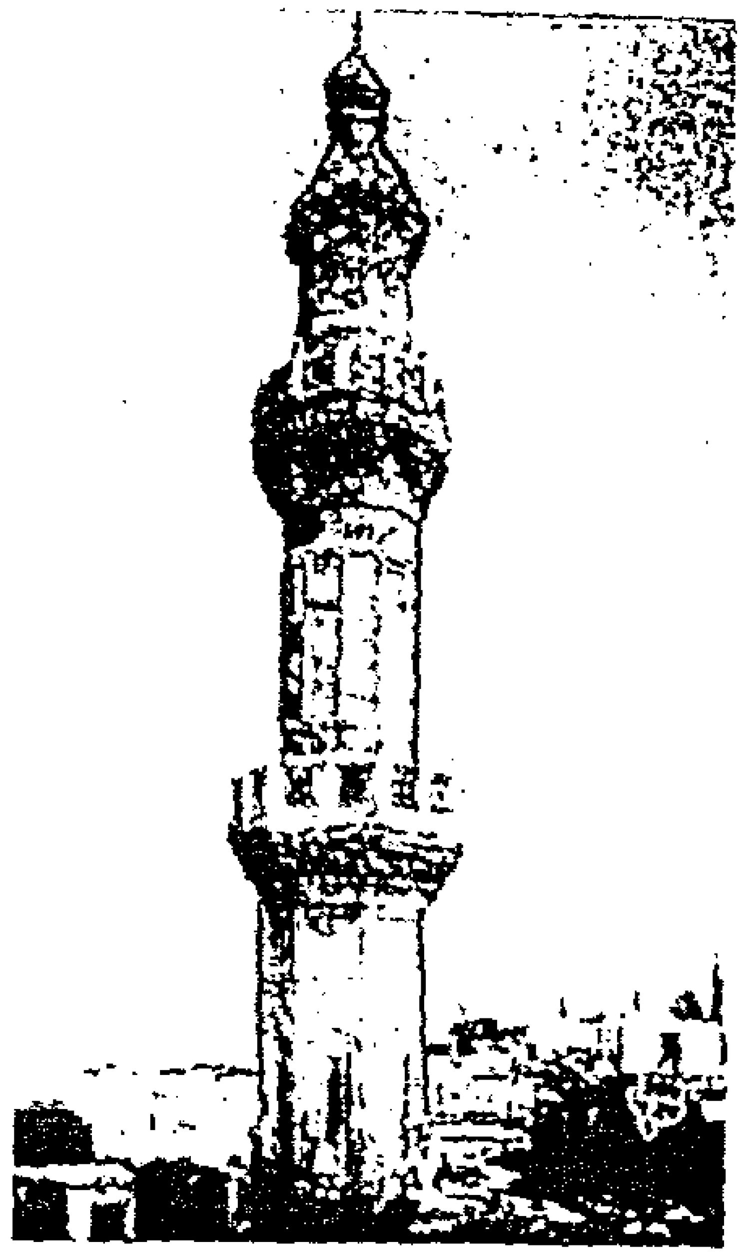
لوحة رقم ( ٤٧ ) توضح المئذنة السابقة



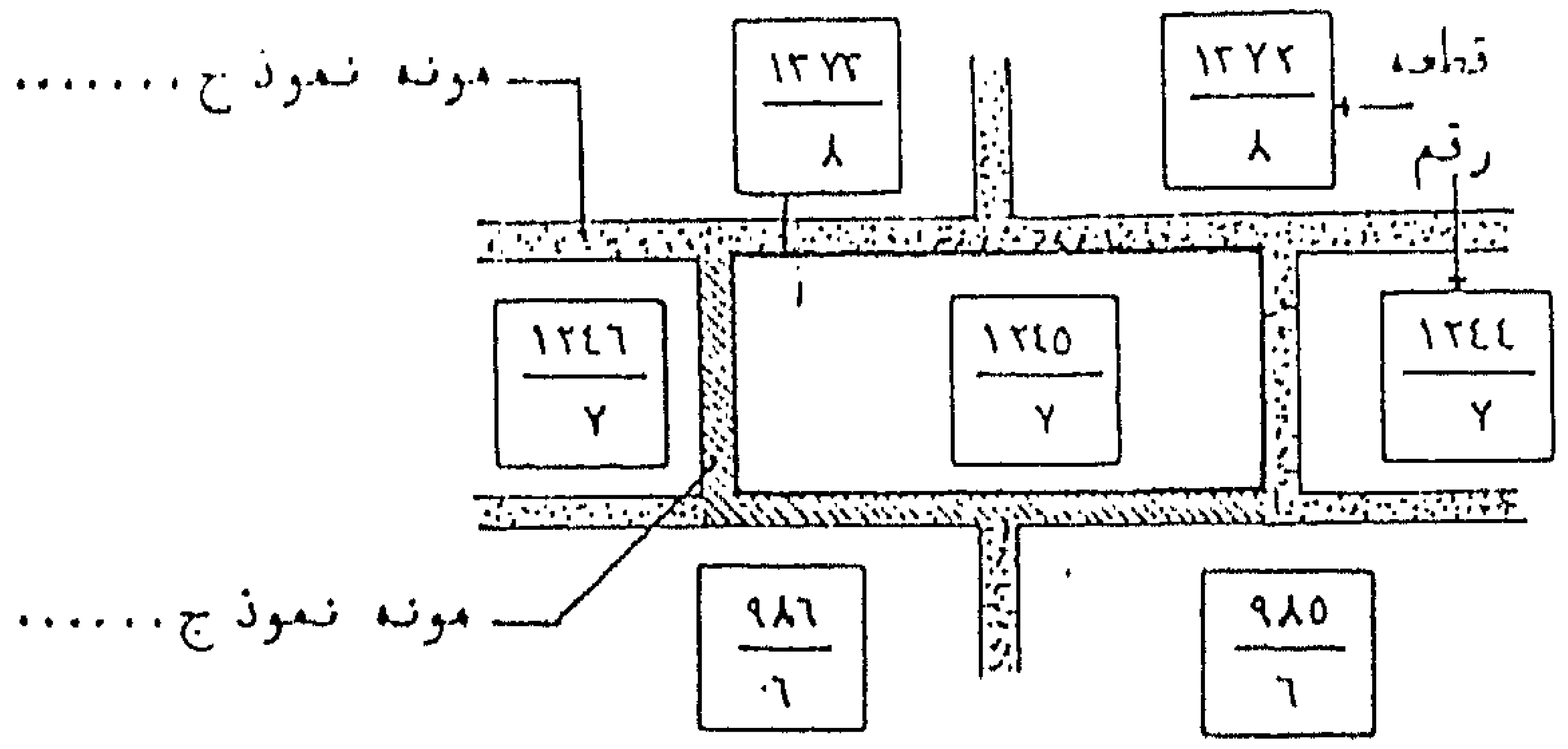
لوحة رقم ( ٤٨ ) توضح مئذنة قانيباي الرماح بالناصرية



لوحة رقم ( ٤٩ ) توضح المئذنة السابقة



لوحة رقم ( ٥٠ ) توضح مئذنة مسجد حسن باشا طاهر



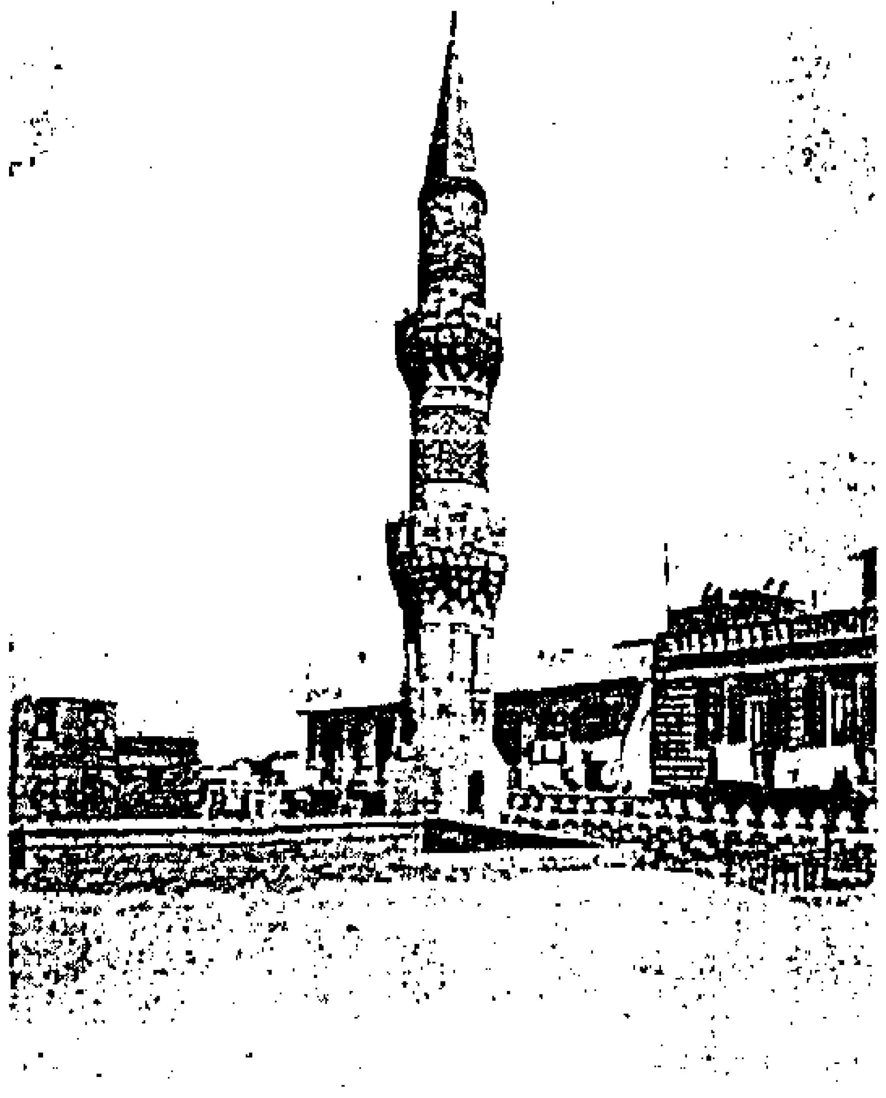

أ ـ نموذ ج لتوزيع علاقة التجاور بين القطع المرقمه

| رقم وبيان الجزء بالمبنى | رقم المدماك او المنسوب | بيانات القطع المرقمه | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | اسم القطعه | رقم القطعه | وصف القطعه | مقاسات القطعه | خصائص القطعه | |
| | | | | | | | |

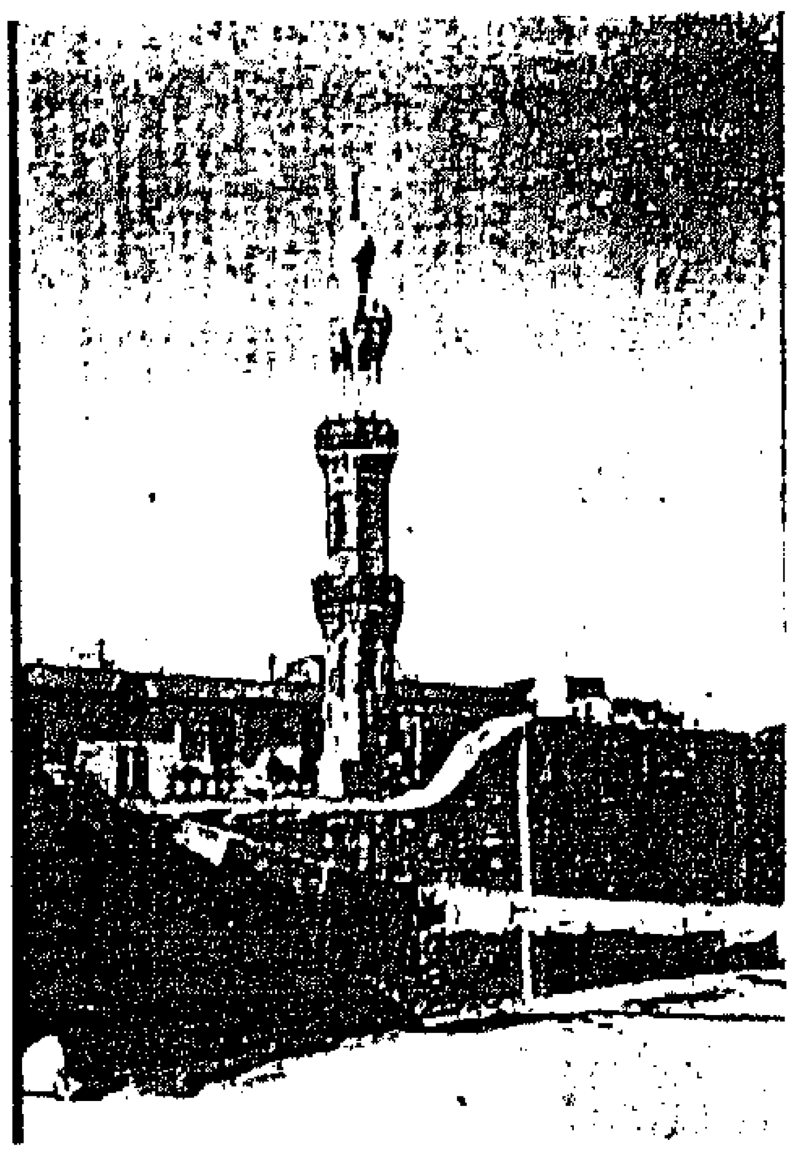
| | بيانات التجاور | | | | | | بيانات مونه ومكملات | | | | | | بيانات اخرى | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | يمين | يسار | اسفل | اعلى | امام | خلف | يمين | يسار | اسفل | اعلى | امام | خلف | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |

ب ـ جدول مقترح لترقيم وتوصيف القطع المزمع فكها لمبنى .....

شكل رقم (٢٧) يوضح علاقة التجاور بين الكتل الحجرية التى يتم فكها
(عن على غالب، ١٩٩١م)

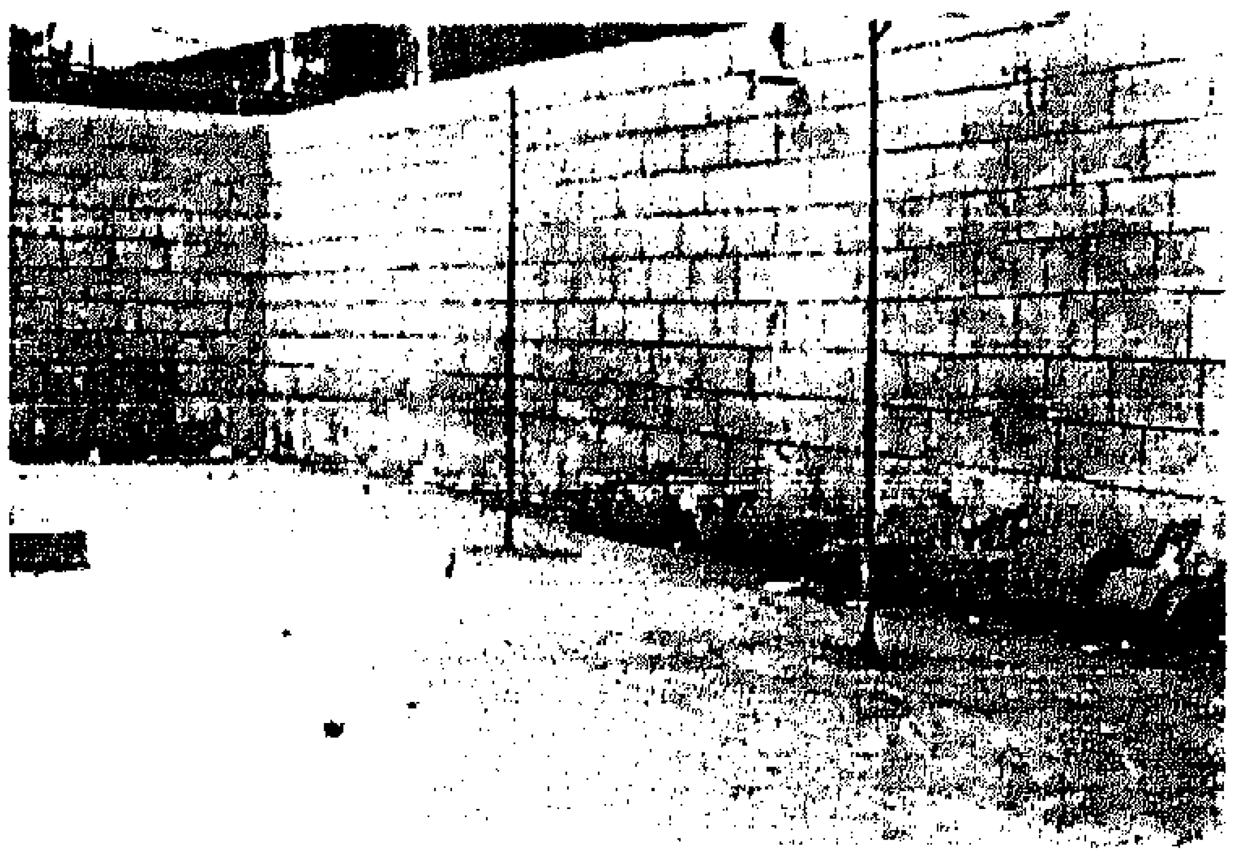


صورة رقم (٢٢)
مئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط قبل الترميم
قمة عثمانية



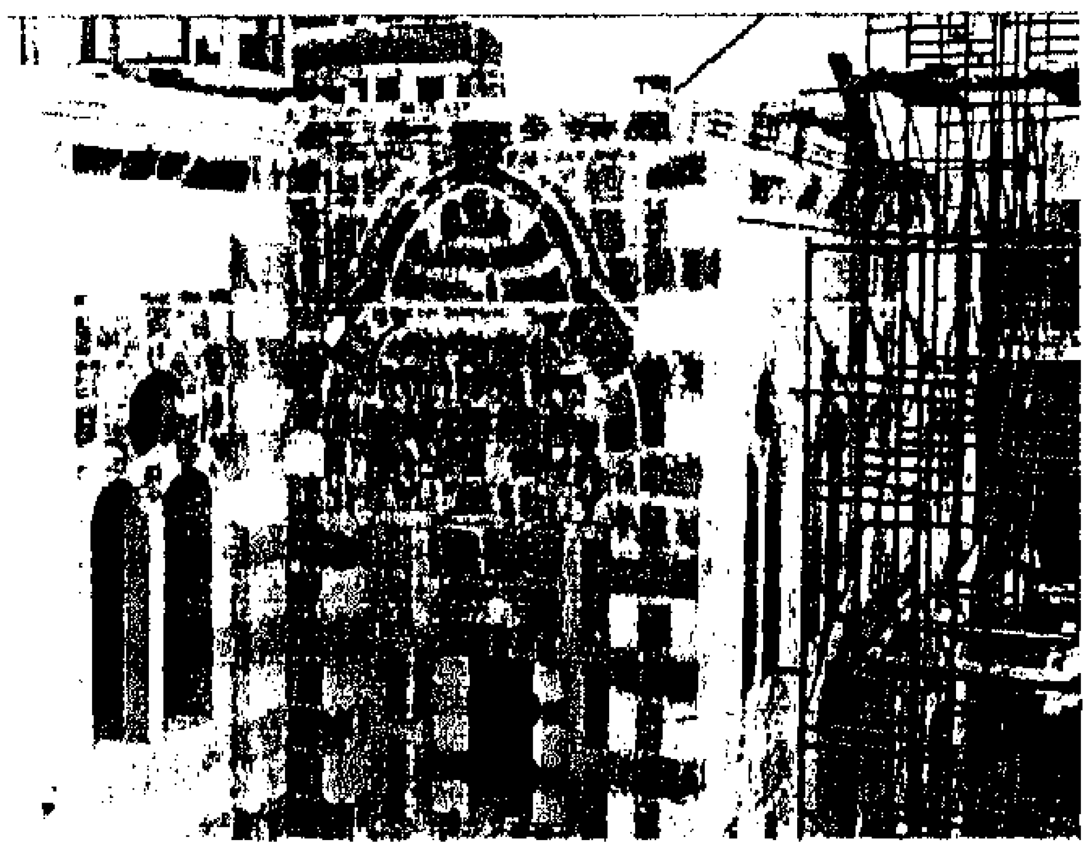
صورة رقم (٢٣)
مئذنة مدرسة القاضي عبد الباسط بعد الترميم
قمة مملوكية

صورة رقم (٢٤)
مئذنة جامع أحمد المهمندار



صورة رقم (٢٥)
موقع مئذنة جامع الأمير حسين بعد فكها

صورة رقم (٢٦)
بعض الكتل الحجرية الأصلية من جامع
الأمير حسين ومئذنته



صورة رقم (٢٧)
عملية إعادة البناء لجامع قانيباي الرماح بالناصرية
ومئذنته

(تصوير الباحث)

### جـ - استبدال الكتل الحجرية التالفة بالمآذن الأثرية

يتم استبدال الكتل الحجرية التالفة والتى لا تصلح للاستمرار فى بدن المئذنة حيث يتم نزعها بحرص شديد ثم استبدالها بكتلة حجرية بنفس الأبعاد والمقاسات مع مراعاة أن يوضع هذا الحجر الجديد على مرقده الطبيعى ويكون متجانساً لونياً بشكل كبير مع أحجار المئذنة الأثرية بالإضافة إلى تميزه بخواص فيزيائية وميكانيكية جيدة ثم ملء العراميس المحيطة بها بالمونة المناسبة وتشطيب ونهو الأعمال بشكل فنى دقيق .

### د ـ استكمال الأجزاء الناقصة الحاملة للزخارف والنقوش

عند فقدان كتلة حجرية عادية لا تحمل زخارف من بدن المئذنة يمكن استكمالها بالشروط السابق ذكرها أما فى حالة استكمال الأجزاء الناقصة التى تحمل زخارف أو نقوش فإن هذه العملية تعتبر هامة جداً نظراً لمحافظتها على استمرارية وبقاء هذه الزخارف والنقوش ويجب أن تتم هذه العمليات فى إطار القواعد التى أعلنتها وأقرتها المواثيق الدولية حيث يشترط وجود نقاط إرشادية ودلائل Index Points على الأثر يتم الاستعانة بها لتصور الشكل الأصلى للأثر أو يتم الاستعانة بمصدر علمى أو تاريخى مؤكد ويكون الهدف الاساسى من هذه العملية هو الحفاظ على الأثر ، ويجب أن تتم علمية الاستكمال طبقاً لطبيعة وطراز العناصر الزخرفية الأصلية ويجب أن تكون متوافقة معها حيث يمكن تمييزها قليلاً بالاختلاف الضئيل فى درجة اللون أو الاختلاف بمقدار ملليمترات فى مستواها السطحى ولاستكمال الأجزاء الناقصة من العناصر الزخرفية سواء كانت هندسية أو نباتية فإن ذلك يقوم على دراسة الشكل الزخرفى وتقسيمه إلى وحداته الهندسية البنائية وخطوط التكوينية وتكراراتها التى تعطى الشكل النهائى وبالتالى التعرف على شكل الوحدة الزخرفية المفقودة بشكل كلى أو جزئى ويتم التنفيذ بنزع الكتلة الحجرية من جسم المئذنة فى حالة تلفها بشكل كلى أو يتم خفض سطح الكتلة الحجرية الأصلية وتثبت تلبيسه حجرية على السطح يتم حفر الزخارف و النقوش عليها حيث يتم رسم وتوقيع الوحدة الزخرفية المفقودة وحفرها بنفس أسلوب حفر الزخارف الأثرية مع التمييز بين الكتلة الحجرية الجديدة المستكملة والأحجار الأثرية سواء بالتفريق اللونى أو عن طريق الفرق فى المستوى السطحى .

أما بالنسبة للنصوص الكتابية فقد تكون فى شكل نص إنشائى أو أدعية أو غير ذلك أو تكون فى شكل نصوص قرآنية والذى يمكن إدراك الناقص منه واستكماله بالاستعانة بأسلوب الخط السائد فيه بينما يصعب استكمال النصوص الإنشائية والتى يصعب إدراك محتوى الناقص منها وفى هذه الحالة يكون ترك هذه الأجزاء دون استكمال هو الإجراء المناسب على أن يتم تقوية وعزل الأجزاء الأثرية الباقية خاصة عند الحواف حتى يتم المحافظة عليها وعدم فقدان أجزاء أخرى منها .

## ٤ ـ الترميم الدقيق للمآذن الأثرية

يشمل الترميم الدقيق للمآذن الأثرية عمليات التنظيف الميكانيكى والكيميائى والعزل الأفقى لأساسات وجدران المآذن الأثرية واستخلاص الأملاح وتقوية وعزل الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية وترميم الفواصل (العراميس) بين الكتل الحجرية .

### أولاً : عمليات التنظيف لأسطح المآذن الأثرية Cleaning Processes

تعتبر عملية التنظيف أهم خطوات العلاج للآثار الحجرية وذلك لأنها إلى جانب استعاده القيمة الفنية للسطح الأثرى تساعد على إزالة أى عوالق أو تكلسات سطحية من أملاح متبلورة وغيرها، وقد تكون عملية التنظيف خطيرة

وتسبب تلفاً للأثر الحجرى إذا تسببت فى تكون شروخ جديدة على السطح أو تسببت فى ترسيب أملاح قابلة للذوبان على السطح فى حالة استخدام التنظيف الكيميائى مثلاً وذلك يؤدى إلى تنشيط وزيادة عمليات التلف أكثر مما كانت قبل إجراء عمليات التنظيف .

## أهمية عملية التنظيف

يمكن القول أن عملية التنظيف هامة وضرورية للأسطح الحجرية الأثرية ولكن لا يجب أن يتسبب إجراءها فى حدوث تلف للأثر ولذلك يجب إجراءها بحرص شديد حتى نتجنب حدوث التلف ومن الممكن استخدام أكثر من طريقة للتنظيف حسب حالة كل جزء فى الأثر ويعتمد اختيار الطريقة المثلى للتنظيف على التركيب الكيميائى والمعدنى للأحجار المعالجة ومساميتها وحالة التلف الموجودة ونوع الأتربة والعوالق والتكلسات المترسبة على الأثر والمراد إزالتها [١].

## اختيار طريقة التنظيف

عند اختيار أسلوب التنظيف المتبع فى المآذن الأثرية لابد من مراعاة بعض الاعتبارات الهامة ومنها :-

١- لابد من أن يتم المحافظة على طبقة الباتينا Patina الموجودة على الأسطح الحجرية الخارجية .

٢- يجب ألا تسبب الطريقة المستخدمة فى التنظيف تكوين مركبات ثانوية قد تؤدى لتلف السطح الأثرى مثل تكون أملاح قابلة للذوبان Soluble Salts .

٣- يجب أن يتم التحكم فى الطريقة المستخدمة فى التنظيف من حيث سرعة إجراءها حتى نتمكن من حماية السطح الأثرى أثناء إجراء عملية التنظيف .

٤- لابد من استبعاد أى مادة تنظيف غير معروف تركيبها الكيميائى ومدى تأثيرها على السطح المعالج .

٥- لابد من إجراء اختبارات موضعية قبل اختيار طريقة التنظيف وتعميمها على الأثر ككل[٢].

## الطرق المستخدمة للتنظيف

تنقسم طرق التنظيف طبقاً لأساسها العلمى أو أسلوب تطبيقها إلى مايلى:-

### أ- الطرق المعتمدة على الماء أو التنظيف باستخدام الماء Water – Based Methods

تكون هذه الطريقة فعالة عندما تكون التكلسات والعوالق المراد إزالتها تحتوى على نسبة من المواد القابلة للذوبان فى الماء وتعتمد النتيجة بشكل كبير على أسلوب التطبيق ومدى نجاحه

وتنقسم هذه الطرق إلى :-

---

(1) Fassina, V.: General Criteria For The Cleaning Of Stone : Theoretical Aspects And Methodology Of Application, In : Stone Material In Monuments : Diagnosis And Conservation , Second Course, Crete, May, 1993,P.126.

(2) Ashurst, J.: Cleaning And Surface Repair , In : Conservation Of Historic Stone Buildings And Monuments , National Press, Washington D.C., 1982,P.278.

### أ- استخدام رذاذ الماء مع ضغط مرتفع Water Spray Under High Pressure

تستخدم هذه الطريقة نظراً لسرعتها وقلة تكلفتها ولكن الضغط المرتفع المستخدم مع قوة الحركة الميكانيكية لرذاذ الماء واصطدامه بالسطح قد تؤدى إلى انفصال وإزالة بعض الأجزاء الضعيفة من السطح المعالج (١) ولا يستطيع القائم بالتنظيف التحكم فى تجنب ذلك، ولكن فى حالة الأسطح الحجرية القوية ومع استخدام ضغط مرتفع نجد أن هذه الطريقة تساعد على إزالة وإذابة طبقات الأتربة وبمعاونة الفرش ، كما يجب التحكم فى كمية الماء المستخدمة بحيث تكون أقل ما يمكن وخاصة فى حالة الأحجار ذات المسامية المرتفعة (٢) ويتم التنظيف من أعلى إلى أسفل .

### ب- استخدام رذاذ الماء مع ضغط منخفض
### Water Spray Under Very Low Pressure

عند استخدام ضغط منخفض يكون هناك تحكم أثناء التطبيق ولكن بسبب هذه الحركة البطيئة والضغط المنخفض فإننا نحتاج إلى وقت كبير للتطبيق وكذلك استخدام كميات كبيرة من الماء مما يؤدى إلى امتصاص السطح الأثرى لهذه الكميات الكبيرة من الماء التى قد تؤدى لتلف الأثر .(٣)

### جـ- الرش بالماء WaterSpringing

وفى هذه الطريقة يتم رش الأسطح بالماء حتى تذوب المواد والرواسب القابلة للذوبان وتتبع هذه العملية بإزالة بقية التكلسات باستخدام الفرش الناعمة (الألياف الصناعية) ثم الشطف بالماء النقى وهذه الطريقة تحافظ على طبقة الباتينا الموجودة على السطح ولذلك تتطلب استخدام المزيد من الماء والتطبيق لفترات أطول وقد يسبب ذلك التلف للسطح الأثرى حيث يسبب إذابة الأملاح الموجودة داخل الأثر وخروجها إلى السطح أثناء عملية تبخر الماء مما يسبب تلف السطح الأثرى بما قد يكون عليه من تفاصيل زخرفية أو ألوان (٤) وفى حالة وجود أجزاء مختلفة من حيث مظاهر تلفها فلا يجب استخدام أسلوب الرش بالماء حيث قد يؤدى ذلك إلى إزالة بعض الأجزاء الضعيفة السطحية ولا ينصح باستخدام هذه الطريقة فى حالة الأحجار ذات المسامية الكبيرة أو التالفة بشكل كبير .(٥)

### د- التنظيف باستخدام بخار الماء

يصلح هذا الأسلوب للاستخدام مع الأسطح المنتظمة عندما لا نستطيع استخدام التنظيف الميكانيكى ولا نستطيع التحكم فيه ويجب أن يتبع التنظيف بالبخار والذى يتم الحصول عليه بتسخين الماء إلى درجة الغليان على أن يتبع باستخدام التنظيف بالفرش الناعمة ويجب إجراء اختبارات قبل استخدامه وذلك حتى نتأكد من أن درجة الحرارة

---

( 1) Fassina, V.: OP. Cit., 1993,P.128.

( 2) Clarke, B.L.: Some Recent Research On Cleaning External Masonry In Great Britian, In: The Treatment Of Stone, Bologna, 1982,P.12.

( 3) Fitzmaurice, J: The Care Antiques, Arlington Books, London, 1980,P.49.

( 4) Fassina, V.: OP. Cit., 1982,P.278.

( 5) Ashurst, J. : Op. Cit., 1982,P.278.

العالية للبخار لن تسبب تزهر الأملاح أو ارتفاع الرطوبة ولا ينصح باستخدام هذه الطريقة فى المبانى الأثرية وذلك لأن درجة الحرارة العالية للبخار قد تسبب تلف المبانى الأثرية المعالجة [١].

### هـ- التنظيف باستخدام الصدم بالحبيبات الرطبة Wet Grit Blasting

تتم هذه الطريقة باستخدام خليط من الحبيبات الحكاكة مع الماء باستخدام ضغط يتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٣ بار وهناك الكثير من العوامل يجب مراعاتها عند التنظيف بهذه الطريقة منها معدل نسبة خلط الماء مع الحبيبات الحكاكة وحجم الحبيبات الحكاكة ودرجة صلادتها وضغط الهواء المستخدم والمسافة بين مصدر الحبيبات والسطح الأثرى الذى يتم تنظيفه [٢] ويمتاز هذا الأسلوب عن طريقة الصدم بالحبيبات الحكاكة الجافة بأنه لا يؤدى إلى وجود أتربة أثناء التطبيق والذى يكون ضارا بالمرمم وتصلح هذه الطريقة بشكل خاص مع الأسطح التى تحتوى على طبقات كثيفة من الأتربة والتكلسات ولا نستطيع التحكم الكامل فى تطبيق هذه الطريقة كما أنها قد تسبب تحرك الأملاح القابلة للذوبان إلى داخل الأسطح الحجرية وتبلورها بعد ذلك مما يسبب التلف [٣].

## ٢- التنظيف بالطرق الميكانيكية Mechanical Methods

### أ- التنظيف بالصدم بالحبيبات الجافة Dry grit Blasting

تعتمد هذه الطريقة على صدم الأسطح المعالجة بواسطة حبيبات دقيقة من الرمل تحت ضغط ويعتمد التأثير الناتج عن هذه الطريقة على :- صلادة الحبيبات – حجم الحبيبات – شكل الحبيبات – الضغط المستخدم – قطر الفوهة التى تنبعث منها الحبيبات وعندما تندفع الحبيبات الرملية تحت ضغط مرتفع ومن فوهة متسعة نجد أن قوة اصطدام الحبيبات بالسطح تكون كبيرة وتتم عملية التنظيف بسرعة وبتكاليف قليلة ولكن التحكم فيها ضعيف جدا كما أن هذه الطريقة ينتج عنها فقدان فى الطبقات السطحية للأحجار المعالجة كما أنها قد تسبب فقدان الزخارف والنقوش التى قد توجد على السطح ولذلك لا ينصح باستخدامها فى حالة وجود طبقات دقيقة من الأتربة على السطح وفى حالة وجود زخارف [٤]

### ب- التنظيف بالصدم بالحبيبات الدقيقة Micro Blasting

الأساس العلمى لهذه الطريقة هو نفسه ما سبق ذكره فى الطريقة السابقة ولكن من مميزات هذه الطريقة استخدام مسحوق من حبيبات دقيقة من الألومنيا أو معدن الكالسيت وهى تتميز بصلادتها المنخفضة عن السيليكا (الكوارتز $SiO_2$ ) وبحجمها الدقيق وهاتين الخاصيتين تجعلان من هذه الطريقة ، أسلوب جيد من حيث إمكانية التحكم فيها واستخدام ضغط منخفض ومتدرج القوة للصدم حيث نجد أن هناك إمكانية التحكم فى الضغط المستخدم ليتلائم مع الحالات المختلفة من التلف للأسطح الحجرية الأثرية حيث تحتوى الأجهزة المستخدمة على وحدة لضغط الهواء

---

( 1) Ashurst, J. And. Ashurst, N. : Cleaning Marble, In: Practical Building Conservation, Vol.1, Stone Masonry, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988,P.44.

( 2) Clarke, B.L.: OP. Cit., 1972,P.13.

( 3) Fitzmaurice, J.: OP. Cit., 1980,P.49.

( 4) Fassina, V. Op. Cit., 1993,P.131.

مقترنة بخزان المواد الصادمة المستخدمة حيث يمكن التحكم فى الضغط المستخدم لاندفاع الحبيبات الدقيقة واصطدامها بالسطح الأثرى .

فنجد أنه يمكن استخدام مادة دقيقة للصدم تركيبها الكيميائى كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وتتميز بصلادتها المنخفضة ويمكن الحصول على هذه المادة المستخدمة للصدم (Media) فى أربع أحجام مختلفة لكى تلائم حالة الأثر المعالج وطبيعة الأسطح المراد تنظيفها كالتالى

- حبيبات ناعمة من ٠,٠٢ إلى ٠,٢٥ مم
- حبيبات متوسطة من ٠,٤ إلى ٠,٥ مم .
- حبيبات خشنة من ٠,٥ إلى ١ مم .
- حبيبات أكثر خشونة من ١ إلى ١,٧ مم .

ويمكن استخدام هذه الطريقة فى التنظيف الجاف وكذلك فى التنظيف الرطب حيث تقترن بالماء بحيث توضع نسبة ٨٠% من الخزان من المادة و ٢٠% الباقية ماء [١].

## إزالة البقع العالقة وآثار الكائنات الحية الدقيقة

يستخدم التنظيف الكيميائى الموضعى لإزالة البقع العالقة وآثار التشوه التى تتركها الكائنات الحية الدقيقة من صبغات وغيرها وعلى سبيل المثال يمكن استخدام محلول سترات الصوديوم المخفف بالماء بنسبة ١:٦ لإزالة بقع الحديد شديدة الالتصاق على أن يتبع ذلك باستخدام محلول كبريتات الصوديوم أما البقع الضعيفة من الحديد فيتم إزالتها باستخدام كمادة من محلول حمض الأوكساليك المخفف بنسبة ١:١٠ بالماء .

أما بقع الشحوم والزيوت فيمكن استخدام خليط من المذيبات العضوية وعلى سبيل المثال يمكن استخدام محلول خليط من أسيتات الأميل مع الأسيتون بنسبة ١:١ أو استخدام الزايلين Xylene حسب درجة إلتصاق بقع الشحم والزيت بالسطح الأثرى ، أما بقع الدخان أو السناج فيمكن استخدام مادة EthyleneDiAmine Tetra-Acetic Acid- [EDTA] معها أو استخدام الترای كلورو إيثيلين أو خليط بنسب مختلفة من المذيبات العضوية مثل الأسيتون والطولوين والكحول الأيثيلى وغيرها على أن تحدد النسب المناسبة بعد إجراء تجارب معملية عليها قبل استخدامها على الأثر [٢] ، وبالنسبة لآثار وبقع الكائنات الحية فيمكن إزالتها بواسطة مركبات الأمونيوم الرباعية (Quants) وتستخدم مع Tri-N-Butyl- Tin Oxide (TBTO) [٣]

## التنظيف باستخدام أشعة الليزر

تستخدم أشعة الليزر فى أعمال التنظيف السطحى للرواسب والتكلسات الصلبة الملتصقة بأسطح المآذن الأثرية وكذلك طبقات السناج الدقيقة أو الكثيفة والتى قد يصعب إزالتها بالوسائل الأخرى خاصة فى الأماكن الزخرفية الحاملة للنقوش الدقيقة ذات القيمة الفنية والأثرية والتاريخية . وتعتمد تطبيقات أشعة الليزر فى التنظيف ميكانيكا

---

(1) Fassina, V.: General Criteria For The Cleaning Of Slone: Theoretical Aspects And Methodology Of Application In : Stone Material In Monuments , Diagnosis And Conservation Second Course, Crete, 1993,P.132.

(2) Ashurst, J. And Ashurst, N.: Masonary Cleaning , In: Practical Building Conservation, Vol.1, England, 1998,Pp.62-63.

(3) Hans, D.D.: Protection And Cultural Animation Of Monuments, Sites And Historic Towns In Europe, German Commission For Unesco, Bonn, Vol.12,1980,P.89.

للتكلسات وطبقات السناج على إمكانية شعاع الليزر الميكانيكية فى صدم وتفتيت طبقات المادة الملوثة من غبار أو سناج أو بقع لونيه أو فطرية أو بلورات ملحية فى زمن ضئيل للغاية يبلغ أقل من ١٠ -٩ من الثانية مما لا يسمح معه بارتفاع درجة حرارة السطح الأثرى المعرض لهذه الأشعة ويعمل شعاع الليزر على حرق وتفتيت التكلسات السطحية وطبقة السناج السوداء وتفجيرها بفعل الحرارة العالية الناتجة عن امتصاص الشعاع المنبعث بعد الاحتراق الكامل للقشرة الصلبة وبالتالى لا يحدث أى امتصاص له على سطح الأثر (١) مما لا يسبب له أى خسائر حتى مع تكرار التطبيق على نفس المنطقة .

## أنواع أشعات الليزر المستخدمة فى التنظيف

من أنواع الليزر المستخدمة فى أغراض الترميم والصيانة ليزر الياج YAG Laser وهو من افضل ليزرات المواد الصلبة التى تستخدم فى مجال الترميم منذ سنوات لعدة اسباب منها تكلفتها القليلة نسبياً وكفاءتها العالية مع إمكانية تعديل مستويات الطاقة ويعطى هذا النوع نبضات قصيرة Short Pulse بالقرب من الأشعة تحت الحمراء بطول موجى يبلغ ١,٠٦٤ ملليمتر (١,٠٦٤ × ١٠ -٦ ) متر (٢) وعملية إصدار الليزر فى شكل نبضات يمكن التحكم فيها بسهولة حيث تتكون كل طلقة من النبضات من كمية محددة متكررة من الطاقة (٣) المستخدمة فى عمليات التنظيف وعملية قياس هذه الكميات من الطاقة والنبضات ذات الأطوال القصيرة لليزر هامة وذلك حتى لا تتعدى طبقة السناج والأتربة والتكلسات المراد تنظيفها وتصل إلى السطح الأثرى وتسبب تلفه ويمكن التحكم فى عدد النبضات المنبعثة فى الثانية وكذلك فى المسافة بين جهاز أشعة الليزر وبين السطح الأثرى المراد تنظيفه (٤) ومن العوامل التى يجب مراعاتها فى اختيار أجهزة الياج المستخدمة فى أعمال الصيانة والترميم أن يقوم الجهاز بتنظيم النبضات الكبيرة ويتاح فيه استخدام بلورات مزدوجة ذات تردد لاخطى لتغيير الطول الموجى لأشعة الليزر من الأشعة تحت الحمراء إلى الخضراء أو الحمراء أو الصفراء أو فوق البنفسجية (٥) وتجدر الإشارة إلى أن مستويات الطاقة اللازمة لوظيفة محددة لا تعتمد فقط على الأثر المراد تنظيفه وحالته والمادة المراد إزالتها ولكن أيضاً على إمكانيات الجهاز المستخدم فى هذه العملية .

و من أنواع الليزر الأخرى المستخدمة لأغراض الترميم ليزر الاكسيمر Excimer Laser لتنظيف المبانى والقطع الحجرية وغيرها (٦) وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تخضع للتجارب من حيث إمكانيات التطبيق إلا أن هذا النوع من الليزر يعتبر جيداً حيث يستطيع إزالة معظم المواد الملوثة والتكلسات الموجودة على الأسطح الأثرية حيث يعتمد

---

(1) Siano, S. et. Al.: Integration Of Laser With Conventional Techniques In Marble Restoration, In:9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000, P.569.

(2) Siedel, H.: Results Of Laser Cleaning On Encrusted Oolithic Limestone Of Angel Sculptures From The Cologne Cathedral In: 9th Inter, Cong., Venice, 2000,585.

(3) Cooper, M. :Laser Cleaning, London, Second Ed.,2002,P.32.

(4) Siano, S. et al: Op. Cit.,2000,P.569.

(5) Pini, R.: In Field Tests And Operative Applications Of Improved Laser Techniques For Stone Cleaning, In : 9th Inter, Cong., Venice, 2000,Pp.577-578.

(6) Siedel, H.: Op. Cit., 2000,P.586.

على استخدام موجات الأشعة فوق البنفسجية القصيرة التى تتميز بوجود طاقة عالية تستطيع كسر الروابط الجزيئين للمركبات السطحية الملوثة وإزالتها بشكل كامل وبدون إحداث أى تلف للأسطح الأثرية [١] .

## مميزات استخدام أشعة الليزر فى عمليات التنظيف

١- من أهم مميزات الليزر الأمان والسرعة الكبيرة مقارنة بالطرق الميكانيكية الأخرى حيث أن النبضة الواحدة المنبعثة من الليزر تستطيع تنظيف منطقة مساحتها ٢٥ مم٢ .[٢]

٢- إمكانية إزالة الأتربة والتكلسات دون التأثير على السطح الأثرى مما يؤدى إلى الحفاظ على السطح الأثرى الاصلى (Patina) الموجودة على السطح .[٣]

٣- إزالة السناج والأتربة والعوالق من على أسطح المناطق الزخرفية ذات التفاصيل الدقيقة والطبقات الملونة والحساسة بأمان كامل وكفاءة جيدة .[٤]

٤- يمكن للمرمم القائم بالتنظيف أن يوقف الجهاز لحظياً عند قطع التيار الكهربى مما يعطيه تحكم أفضل لوقف عملية التنظيف عندما يقرر ذلك .

٥- يمكن لمولد أشعة الليزر أن ينتج العديد من الأقطار المختلفة لحزمة الشعاع الأحادى تتراوح ما بين كسور الملليمترات إلى واحد سم بما يعنى أن الجهاز يمكن أن يستخدم لتنظيف التفاصيل الدقيقة وكذلك المساحات الكبيرة للسطح .

٦- يوجد نظامين لمولدات الليزر تستخدم فى أعمال الترميم أحدهما ثابت ويستخدم فى تنظيف القطع الحجرية وغيرها من القطع الأثرية المنقولة والتى يتم نقلها إليه ليتم إجراء عملية التنظيف والثانى متحرك يمكن نقلة إلى مكان وموقع الاستخدام ويمكن الوصول إلى أدق التفاصيل من خلال الكابل المصنوع من الألياف البصرية المرنة وإجراء عملية التنظيف بسهولة [٥] .

## ثانياً : العزل الأفقى لأساسات وجدران المآذن الأثرية

ترجع أهمية عملية العزل الأفقى لأساسات وجدران المآذن الأثرية إلى أن الماء الأرض الذى يمتص وينتشر داخل الأحجار ومواد البناء من خلال مسامها سواء فى الصورة السائلة أو فى صورة بخار ماء يؤدى إلى تنشيط التفاعلات الكيميائية داخل الأحجار وعلى أسطحها وكذلك إذابة بعض مكوناتها القابلة للذوبان فى الماء إلى جانب الأثر السلبى الذى تسببه المياه الأرضية التى تصعد من خلال التربة بواسطة الخاصية الشعرية داخل مسام الأحجار بما تتحمله من كائنات حيه دقيقة وأملاح فى صورة محاليل ملحية تتبلور داخل الأحجار بعد تبخر الماء الحامل لها

(1) Tam,A. et. Al: Laser Cleaning Techniques For Removal Of Surface Particles , Journal Of Applied Physics , Vol.71, No.7,1992,P.3515 .

(2) Cooper M.: Laser Cleaning, London, Second Ed. 2002,P.38.

(3) Cooper, M. et al: Characterization Of Laser Cleaning Of Limestone Optics And Laser Technology, London, 1995,P.69-73.

(4) Cooper , M. And Larson, J.: The Use Of Laser Cleaning To Preserve Patina On Marble Sculpture, The Conservator, Vol. 20,1996,P.109.

(5) Cooper, M. Et al: Op. Cit., 1995,PP.70-72 .

وتعطى بلورات الأملاح بأشكالها البلورية المختلفة التى تؤدى إلى نشأة ضغوط موضعية وإجهادات تجعل من الضرورى أن يتم العمل على إيقاف صعود الماء داخل المسام والتحكم منها لحماية وصيانة جدران المآذن والمبانى الأثرية ويتم ذلك بأساليب معالجة الرطوبة المختلفة مثل طريقة العزل الفيزيائى Physical Damp-Proof Courses والعزل الكهرواسموزى Electro Osmosis والعزل باستخدام النظام المسمى بالسيفونات Siphons System والعزل باستخدام المواد الطارد أو المانعة للماء عزلاً كيميائياً (١) Chemical Damp Proof-CoursesBy Water Repellent Materials وفيما يلى هذه الطريق :-

## ١) العزل الفيزيائى Physical Damp-Proof Courses

هى عملية عزل بواسطة شرائح بلاستيكية من مواد تتميز بالمرونة وعازلة ضد الرطوبة (٢) مثل مادة P.V.C (PolyVinyl Chlori de) وتمنع هذه الشرائح العازلة للرطوبة المتمثلة فى المياه الأرضية من الصعود خلال الجدران ويتم ذلك عن طريق نشر الجدار باحداث شق فى طبقات المونة بين كتل الأحجار فى المستوى المراد تنفيذ العزل الأفقي خلاله (٣) وتتم عملية النشر باستخدام منشار السلسلة Chain S aw بحيث لا يحدث اهتزازات للمبنى أوالجدار الذى يتم النشر فيه حيث تكون عملية النشر أفقية وذلك باتساع حوالى ٧ مم وبطول من نصف متر إلى واحد متر (٤) وعادة ما يتم نشر كل جانب من الجدار بشكل منفصل ويتم إدخال الشريحة العازلة ويتم عمل تداخل بين كل شريحة والمجاورة لها عن طريق مجرى يوجد فى أحرف الشرائح وتوجد بروز على الشريحة لكي تتماسك مع المونة المستخدمة والتى يتم وضعها من أعلى ومن أسفل (٥) ويجب أن تكون المونة مقاومة للكبريتات والكلوريدات ويمكن أن تستخدم مونة طبيعية مكونة من الجير والقصروميل والحمرة وتستمر العملية حتى يتم عزل الجدار بأكمله وتكوين طبقة عازلة أفقية تمنع صعود الماء من التربة خلال الجدران المبانى الأثرية لصيانتها من التلف.

## ٢) العزل الكهرواسموزى Electro-Osmosis

استخدمت الخاصية الكهرواسموزية كأسلوب للعزل وطريقة لمعالجة ارتفاع الرطوبة داخل جدران المباني الأثرية وتعتمد هذه الطريقة على استخدام أقطاب كهربية سالبة يتم ادخالها فى فتحات يتم عملها بالجدار على ارتفاع مناسب ثم يتم توصيلها بالأرض كما يتم الدفع بتيار كهربي مستمر من مولد كهربي من خلال أسلاك يتم توصيلها بالأقطاب الكهربية الموجودة بالجدار التى تستطيع أن تجذب وتستقطب الشحنات الكهربية الموجودة فى جزيئات الماء والتى تصعد داخل جدران المباني الأثرية حيث تمنع صعودها خلاله وعن طريق استخدام جهد كهربي مناسب فإن

---

(1) Oliver, A.: Dampness In Buildings, B.S.P., Professional Books, Oxford , London , 1988, P.152

(2) Ashurst, J. And Ashurst, N.: Control Of Damp In Buildings In : Practical Building Conservation, VOL.1, Stone Masonary, English Heritage Technical Hand Book, England, 1988, P.163

(3) Fanfani , G. : The Italian -Egyptian Restoration Centers Work In The Mevelvi Complex In Cairo , In : The Restoration And Conservation Of Islamic Monuments In Egypt , The American Uni , In Cairo Press , 1995 , P. 64

(4) Ashurst , J. And Ashurst , N. : Op. Cit ., 1998 , P. 163

(5) Oliver , A. : Op. Cit . , 1988 , P. 152

الأيونات الموجبة الموجودة فى جزيئات الماء تستقطب بواسطة الأقطاب الكهربية الموجـودة بـالجدار [١] وتوجـد شحنات متنوعة فى الماء الذى يصعد إلى الجدران ويعتمد تنوعها على أنواع الأملاح الموجودة بها وهذه الأمـلاح يكون مصدرها التربة أو ربما تكون ضمن مكونات مواد البنـاء مثـل الأحجـار أو المونـات وتختلـف القـدرة الكهرواسموزية على منع الماء من الصعود طبقا لارتفاع منسوب الرطوبـة داخـل الجـدران وتفقـد الخاصيـة الكهروأسموزية فاعليتها على عمليات العزل فكلما كان الجدار جافا [٢]

## ٣) العزل باستخدام نظام السيفونات Siphons System

يتم فى هذا الأسلوب استخدام أنابيب مجوفة من الفخار وذلك لطرد الرطوبة الزائدة من الجـدران والسـماح لـها بالجفاف وفى هذا النظام فإن السيفونات Siphons الفخارية توضع داخل فتحات يتم عملها فى الجـدار وتوضـع بزاوية مائلة داخل الجداريتم وضعها بحيث تتوغل بنسبة ٧٥ % من سمك الجدار ويتم إحاطتها وتثبيتها بواسـطة رمال خالية تماما من الأملاح وذلك لكى يكون الوسط المحيط بها مسامي بدرجة كبيرة ثم يتم سد فتحـة الأنبوبـة المجوفة بواسطة شبكة معدنية [٣] لتجديد الهواء وتثبت بمونة خالية من الأملاح ومقاومة للكبريتـات والكلوريـدات وتفضل المونات الطبيعية من القصروميل والجير والحمرة وفى هذه الطريقة يتجمع بخار الماء من الجدار داخل هذه الأنابيب بواسطة الخاصية الشعرية ثم يتم خروج هذا الهواء الرطب المحمل ببخار الماء من داخل الأنابيب ويحـل محله هواء جاف وتستمر هذه العملية حيث تنتقل الرطوبة الزائدة من داخل الجدران إلى الخارج ، ومن عيوب هـذه الطريقة انه عند سد مسام الأنابيب الفخارية المستخدمة بواسطة الأملاح التى كانت ذائبة فى الرطوبـة يتـم منـع وصول المزيد من بخار الماء إلى داخل الأنابيب للتخلص منه إلى خارج الجدران كما أن هذه الأملاح عندما تكـون من الأملاح الهيجروسكوبية Hygroscopic Salts مثل ملح الهاليت (كلوريد الصوديوم NaCl ) فإنها تزيد مـن نسبة الرطوبة داخل الجدران بفعل امتصاصها لها .[٤]

## ٤) طرق العزل الكيميائى Chemical Damp-Proof Courses

يعتبر العزل الكيميائى لجدران المبانى الأثرية ضد مصادر الرطوبة من أكثر الطرق انتشاراً وأفضلها فاعلية لعـزل الجدران عزلاً أفقياً للتخلص من الرطوبة وإيقافها حتى لا تستطيع الارتفاع داخل جدران المبانى الأثرية ويتم إجراء عملية العزل الأفقى باستخدام مواد كيميائية تتميز بخاصية المنع للماء Water Repellent Materials حيث يتـم حقن المادة العازلة تحت ضغط داخل الجدران [٥] والمواد الكيميائية التى يتم حقنها تؤدى إلى تكوين الطبقة العازلـة ضد الرطوبة بطريقتين هما :-

---

( 1) Fanfoni , G. : Op. Cit. , 1995 , P. 65

( 2) Oliver , A. : Op. Cit . , 1988 , P. 153

( 3) Ashurst , J. And Ashurst , N. : Op. Cit ., 1998 , P. 164

( 4) Ashurst, J. And Ashurst, N. : Op. Cit., 1988,P.164.

( 5) Tomanek, A,: Silicones And Industry, Munich, Hanser, Second Ed. 2002,P.98.

(١) تقوم المادة التى يتم حقنها بواسطة خاصية المنع ضد الماء بتغطية المسام الموجودة بين حبيبات الأحجار ومواد البناء وتغليفها وجعلها طاردة للماء أى تجعلها مادة هيدروفوبية Hydrophobic Material وليست مادة قادرة على البلل ومحبة للماء Hydrophilic Material وبذلك يتم تكوين الطبقة العازلة للرطوبة .

(٢) تقوم المادة التى يتم حقنها بملء المسام الموجودة بين الحبيبات بشكل كامل وبذلك لا تستطيع الرطوبة المتمثلة فى المياه الأرضية فى النفاذ من خلال المسام والتى تم سدها وملئها تماماً Completely Sealed بالمادة التى تم حقنها وبذلك تمنع صعود المياه الأرضية للجدران ونفاذها خلالها [1] ، ومن الممكن إجراء عملية خلط ومزج بين مادتين إحداهما تتميز بخاصية المنع للماء Water Repellency والثانية تتميز بخاصية الملء للمسام والنظام الشعرى Constriction Of The Ca pillary System [2]

وتعتمد المواد المالئة للمسام على نظرية حدوث انخفاض كبير فى قوة الخاصية الشعرية التى تتحكم فى صعود الماء كلما انخفضت أقطار هذا النظام الشعرى وفى أغلب الحالات تصل إلى الصفر وبذلك تمنع صعود الماء تماماً داخل المسام [3] ، أما بالنسبة لعمل طبقة عازلة عن طريق جعل الحبيبات والمسام ذات تأثير طارد للماء فيعتمد ذلك على أن الماء سائل قطبى يتنافر مع الأسطح غير القطبية Non-Polar وذات التأثير الطارد للماء Water Repellent والذى يفقد القدرة على البلل حيث تكون زاوية التماس فى هذه الحالة بين الماء والسطح الحجرى تساوى ١٨٠° ($\theta = 180°$) وهى بذلك تسمى أسطح غير محبة للماء Hydrophobic Surfaces بينما يكون الوضع قبل المعالجة بهذه المواد الطاردة للماء أنها تكون أسطح محبة للماء وتستطيع البلل وامتصاص الماء حيث تكون زاوية التماس بين الماء وأسطح الأحجار تساوى صفر ($\theta = 0°$)[4] ومن المواد المستخدمة فى إجراء عملية الحقن للأساسات والجدران السيليكات القاعدية Alkali Silicates ومركبات السيليكونات مثل سيليكونات المثيل القاعدية وكذلك استخدام خليط من المادتين السابقتين وكذلك المستحلبات الدقيقة لمركبات السيلان والسيلوكان Micro-Emulsion OfSilane And Siloxane وفيما يلى هذه المركبات .

## ١) مركبات السيليكات القاعدية Alkali Silicates

استخدمت مركبات السيليكات القاعدية فى عمليات تقوية وعزل الأحجار ومواد البناء عن مصادر الرطوبة وتحقيق العزل هنا يتم عن طريق ملء الفراغات والمسام الموجودة فى الأحجار ومواد البناء وسدها وبذلك نمنع صعود الماء الأرضى بالخاصية الشعرية خلال الجدران ومن مواد السيليكات القاعدية المستخدمة سيليكات الصوديوم وسيليكات البوتاسيوم حيث تتفاعل هذه المركبات مع ثانى أكسيد الكربون $CO_2$ وتكون كتلة جيلاتينية من السيليكا ( سيليكا جل Silica Gel ) [5] وتترسب بين

---

(1) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Guide Lines To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert Verlag, Germany, 2000,P.32.

(2) Clifton, J.: Stone Consolidating Materials, Astatus Report, Technical Note 118, National Bureau Of Standards,1980,P.12.

(3) Grissom, C.A., Weiss, N.R.: Alkoxy Silanes In The Comervation Of Art And Architecture: 1861-1981, Art And Archaeology Technical Abstracts, Vol. 18,No,1, 1981,P.18.

(4) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Guide Lines To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert Verlag, Germany, 2000,P.34.

(5) Lanterna, G.: Mineral Inorganic Treatments For The Conservation Of Calcareous Artefacts, In : Processdings Of The 9th Inter. Congress , Venice, 2000,P.388.

حبيبات الأحجار ومواد البناء ثم تخضع هذه الكتلة الجيلاتينية لعمليات التقلص والأنكماش التدريجـــى بفقدهـــا المــاء مكونة فى النهاية السيليكا الجافة ويحدث التفاعل كالآتى :-

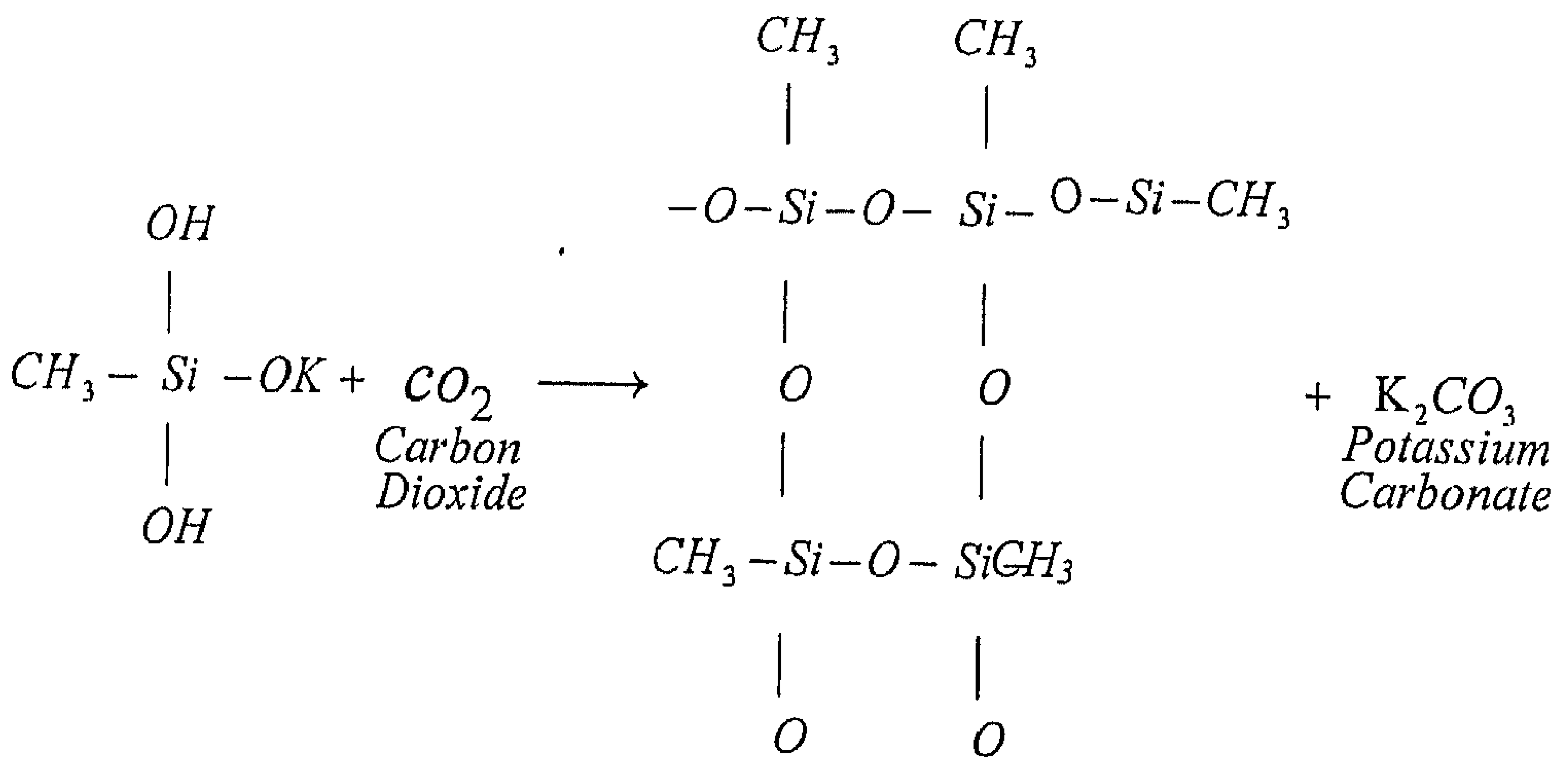
$$K_2O.SiO_2.aq + CO_2 \rightarrow SiO_2\,aq + K_2CO_3$$

Potassium Silicate Silica Gel Potassium Carbonate

حيث تتفاعل سليكات البوتاسيوم مع ثانى أكسيد الكربون وتكون السيليكاجل حل وكربونات البوتاسيوم كمركب ثانوى (١) ولكن من عيوب هذه الطريقة أن تكون كربونات البوتاسيوم $K_2CO_3$ مصدراً لزيادة نسبة الأملاح داخل الأحجار ومواد البناء مما يؤدى إلى مزيد من التلف للمبانى الأثرية (٢)

## ٢) مركبات السيليكونات Siliconates

تستخدم مركبات السيليكونات مثل مركبات سيليكونات الميثيل القاعدية The Alkali MethylSiliconate ومــن أمثلتها الصوديوم ميثيل سيليكونات (NaCH)٣Si٣D٦) والبوتاسيوم مثيل سليكونات (K (CH٣Si٣O٦ وتتفاعل هــذه المركبات مع ثانى أكسيد الكربون الجوى حيث يتكون راتنج الميثيل ســـيليكونات Methyl Silicon Resin (٣) وذلك طبقاً للتفاعل الآتى :-




Poly methyl SilicicAcid
(Methyl Silicon resin)

ولا يستخدم مركب الصوديوم ميثيل سيليكونات فى عمليات العزل(٤) نظراً لما يسببه مركب كربونـــات الصوديـــوم والذى ينتج كناتج ثانوى للتفاعل من ضرر وتلف للأحجار ومواد البناء (١) .

---

(1) Linke, W.: Solubility Of Inorganic And Metal Organic Compounds Vol.1, Van Nostrand, London, 1958,P.117.

(2) Lanterna, G.: Op. Cit., 2000,P.388.

(3) Oliver, A.: Dampness In Buildings, B.S.P., Professional Books, Oxford, London, 1988,P.156.

(4) Ashurst, J.,And Ashurst, N.: Control Of Damp In Buildings In: Practical Building Conservation, Vol,1, Stone Masonary, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988,P.164.

## ٣- استخدام خليط من مركبات السيليكات والسيليكونات
## Combinations Of Silicates And Siliconates

يستخدم هذا الخليط من مركبات السيليكات والسيليكونات لإجراء عمليات التقوية والعزل للأحجار ومواد البناء حيث تقوم بتحقيق التقوية عن طريق القيام بوظيفة المادة الرابطة الجديدة بين حبيبات مواد البناء والأحجار عن طريق الانتشار بينها كما تقوم بالعزل حيث تتميز السيليكونات بخاصية المنع ضد الماء ومن مميزات استخدام هذا الخليط أن له كفاءة عالية وقدرة كبيرة على تحقيق وظيفتي التقوية والعزل لمواد البناء والأحجار(٢) ولكن من عيوبه أيضا تكون كربونات البوتاسيوم كناتج ثانوي يؤدي لزيادة المحتوى الملحي للأحجار ومواد البناء وبالتالي قد يؤدي إلى حدوث التلف للمباني الأثرية .

## ٤- مستحلبات السيلان والسيلوكسان Silane And SiloxaneEmulsions

تعتبر مستحلبات السيلان والسيلوكان من أفضل المواد المستخدمة لإجراء عمليات العزل للأحجار ومواد البناء في المباني الأثرية ويتكون السيلان من وحدات ذات وزن جزيئي صغير من الألكيل ترای الكوكسی سيلان(٣) ALkyl Tri Alkoxy Silanes وتركيبه البنائي :

Monomeric Alkyl Tri Alkoxy Silanes

$$\begin{array}{c} R \\ | \\ R'O-\ Si\ -OR' \\ | \\ \mathrm{OR'} \end{array}$$

بينما السيلوكسان يتكون من وحدات ذات وزن جزيئي كبير ( من ٢ إلى ٨ جزيئات) من الألكيل الكوكسي سيلوكسان AlkylAlkoxy Siloxanes وتركيبة البنائي

Oligomeric Alkyl Alkoxy Siloxanes

$$R'O\left[\begin{array}{c} R \\ | \\ -\ Si\ -O- \\ | \\ \mathrm{OR'} \end{array}\right]_{2-8} R'$$

وتحتوي هذه المركبات في تركيبها الكيميائي على السيلان والسيلوكسان وتكون معلق او مستحلب منها في الماء (٤) Surfactants حيث تعطي مستحلب ذو جزئيات صغيرة جداً تتراوح أحجامها من ٢٠إلى ٦٠ نانومتر (nm) وهي

---

(1) Oliver, A.: Op. Cit., 1988,P.165.

(2) Munnikendam, R.A.: Anew System For The Consolidation Of Fragile Stone, Studies In Conservation, No.18,1973,Pp.59-79.

(3) Weber, H.: Conservation And Restoration Of Natural Stone In Europe, APT Conference In Toronto, 1984,P.6.

(4) Grissom, C.A., Weiss, N.R.: Alkoxy Silanes In The Conservation Of Art And Architecture : 1861-1981, Art And Archaeology Technical Abstracts, Vol.18,No.1,1981,P.23.

بذلك تستطيع التوغل والإنتشار بكفاءة عالية على عكس المستحلبات العادية التى تحتوى على جزئيات كبيرة وتتميــا هذه المركبات فى الماء مكونة مركبات تحتوى على روابط متقاطعة من السيلوكسان وتتميز هذه الروابــط بقدرتــها على منع الماء [١] ويحدث تفاعل التميؤ كما يلى :-

$$\begin{array}{c} O \\ | \\ R-Si-OEt \\ | \\ O \end{array} + H_2O \longrightarrow \begin{array}{c} O \\ | \\ R - Si - O \\ | \\ O \end{array} --- + Et-OH$$

Siloxane Or Silcone resin

$R = CH_3$

*Cross* Linked Poly Siloxane

*Ethanol*

ومن أمثلة هذه المركبات مركب يستخدم على نطاق واسع فى عمليات العزل الأفقى للمبانى الأثرية تحــت مســمى Wacker SMK 550 [٢] وقد تم وضعه تحت الاختبار فى الجانب التجريبى بالفصل الخامس للرسالة .

ومن مميزات مركبات السيلان والسيلوكان أنها لا تحتاج إلى $CO_2$ لتكوين الروابط المتقاطعة كما يمكن اسـتخدامها مع الجدران ذات السمك الكبير فى المبانى الأثرية .

ويتم إجراء عملية العزل للجدران والأساسات بواسطة الحقن تحت ضغط مناسب حيث يتم عمل ثقوب فى الجــــدار عند مستوى العزل المطلوب بحيث تكون المسافة بين كل ثقبين متجاورين فى حدود من ١٥-٢٠سم (حسب الحالــة) وذلك بطول الجدار حيث يشمل الثقب كل سمك الجدار إلا ٥ سم ويتم تثبيت محابس على الثقوب من الخــارج يتــم فتحها أثناء الحقن وتثبت بالجير و مسحوق الحجر الجيرى ويتم الحقن من خلالها بالضغط المناسب وتترك المحابس مغلقة حتى يتم جفاف المادة وتبلورها داخل الجدران ثم تنزع المحابس ويتم ملء الثقوب باستخدام مسحوق الحجــر الجيرى مع الجير .

## ثالثاً : طرق استخلاص وإزالة الأملاح من جدران المآذن الأثرية
## Extraction And Removal Of Salts

تنقسم الأملاح من حيث قابليتها للذوبان فى الماء إلى قسمين هما :-

أ- الأملاح غير القابلة للذوبان فى الماء Insoluble Salts مثل أملاح كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وكبريتــات الكالسيوم (الجبس) $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

ب- الأملاح القابلة للذوبان فى الماء Soluble Salts ومنــها أمــلاح الكلوريــدات مثــل كلوريــد الصوديــوم Sodium Chloride وأملاح النترات مثل نترات الصوديوم .

وتبعاً لذلك تختلف طرق إزالة واستخلاص الأملاح حيث يتبع مع الأملاح غير القابلة للذوبان فى الماء طرق الإزالة الميكانيكية أو الإزالة باستخدام المحاليل الكيميائية بشكل موضعى أما الأملاح القابلة للذوبان فى الماء فــهى توجــد

---

(1) Elizabeth, G.: The Effect Of Stone, Limestone, Marble And Sodium Chloride On The Polymerization Of MTMOS Solutions In: 8th Inter, Cong, Berlin, Germany, 1996,Pp.1246-1247.

(2) Hristova, J. And Todorov, V.: Consolidation Effect Of Wacker Silicons On The Properties Of Sandy Limestone, In: 8th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996, Pp.1159-1201.

غالباً أسفل الطبقات السطحية للأحجار أو قد تتزهر على السطح Efflorescence ويتم استخلاص هذا النوع من الأملاح القابل للذوبان فى الماء بواسطة الكمادات Poultices (١) وفيما يلى هذه الطرق :-

## ١) الطرق الميكانيكية لإزالة الاملاح غير القابلة للذوبان فى الماء

تتكون الأملاح غير القابلة للذوبان فى الماء على أسطح المآذن الأثرية مثل أملاح الكربونات أو الكبريتات وذلك بفعل التلوث الجوى أو نشاط الكائنات الحية الدقيقة وربما تعود لترسيب بعض البلورات الملحية بين حبيبات ومكونات الأحجار حيث تكون معلقة فى الهواء وتتحرك باتجاه الأسطح الحجرية بواسطة الرياح ويمكن إزالة هذا النوع من الأملاح باستخدام الطرق الميكانيكية (٢) سواء الطرق التقليدية بواسطة الأدوات اليدوية مثل الفرر والفرش الخشنة والناعمة والمشارط سواء ذات اليد الثابتة أو المتحركة ويتم إزالة الأملاح غير القابلة للذوبان فى الماء أولا قبل إتباع عملية الاستخلاص الرطب بواسطة الكمادات للملاح القابلة للذوبان فى الماء والتى توجد على أعماق مختلفة داخل الجدران الحجرية وقد يكتفى بعمليات الإزالة الميكانيكية للأملاح الموجودة على السطح فى حالة وجود ثبات وتوازن بين العوامل التى تؤدى إلى تبلور الأملاح وحالة الأثر حيث يمكن اعتبار الأملاح فى هذه الحالة بمثابة المادة الرابطة بين الحبيبات (٣).

## ٢) الطرق الرطبة لإزالة الاملاح غير القابلة للذوبان فى الماء

فى حالة عدم نجاح الطرق الميكانيكية فى إزالة الأملاح غير القابلة للذوبان بشكل كلى أو صعوبة استخدام الطرق الميكانيكية بسبب حالة الأثر يمكن إزالة هذه الأملاح مثل أملاح الكربونات كيميائياً بطرق الإزالة الرطبة حيث يمكن استخدام محلول هكساميتا فوسفات الصوديوم أو كربونات الأمونيوم أو ثيوسلفات الصوديوم بتركيزات لا تزيد عن ١٠% كما يمكن إزالتها موضعياً باستخدام الأحماض المخففة مثل حمض النيتريك أو الاوكساليك أو الهيدروكلوريك بتركيزات مخففة لا تتعدى ٥% (٤) ويجب إجراء عملية شطف جيد للسطح عند استخدام هذه المحاليل الكيميائية حتى لا يتبقى منها أجزاء على السطح قد تسبب تلفه بعد ذلك بفعل تفاعلها مع السطح وتكوين مركبات قابلة للذوبان .

## ٣) استخلاص الاملاح القابلة للذوبان فى الماء بواسطة الكمادات

## Extraction Of Soluble Salts By Poultices

توجد الأملاح القابلة للذوبان فى الماء مثل أملاح النترات والكلوريدات على أعماق مختلفة داخل الجدران الحجرية أو على الأسطح أو أسفل الأسطح مباشرة حسب مكان تبلورها وقد يكون تركيز الأملاح على الأسطح الحجرية أعلى من تركيزها بداخل الجدران ويتوقف ذلك على مصدر الملح فإذا كان تركيز الأملاح على الأسطح أعلى نستنتج من ذلك أن مصدر هذه الأملاح يكون أما نتيجة وجود تلوث جوى ورطوبة أو بلورات أملاح تترسب على

---

(1) Jedjeiwska, H.: Removal Of Soluble Salts From Stone, In: Conservation Of Stone 2nd Ed , Vol.1,IIC,1970,P.19.

(2) Ashurst J. And Ashurst, N.: Practical Building Conservation, Vol.1, Stone Masonary, English Heritage Technical Hand Book, 1988,P.134.

(3) Jedjeijwska, H. : Op. Cit., 1970,P.28.

(4) Bradley, S.M. And Hanna, S.B. ; The Effect Of Soluble Salt Movement On The Conservation Of An Egyptian Limestone Standing Figure, In : Conservation Of Stone, IIC. Bologna, 1986,P..59-63.

الأسطح [١] وتنتقل إليها بفعل تأثير الرياح أو نتيجة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة أما إذا كان مصدر الأملاح هو المياه الأرضية نجد أن الأملاح تكون نسبتها أعلى داخل الجدران الحجرية وقد تحدث لها هجرة إلى خارج هذه الأسطح ويتوقف ذلك على عملية الإذابة ثم البخر وإعادة التبلور الذى يتوقف بدورة على درجة الحرارة والرطوبة النسبية فى الجو المحيط بالأثر [٢] ونستطيع استخلاص وإزالة هذه الأملاح القابلة للذوبان بواسطة الكمادات ويجب أن يسبق هذه العملية إجراء عملية عزل أفقى سواء أكان عزلاً فيزيائياً أو كيميائياً بالمحاليل المناسبة لقطع ومنع مصدر الأملاح من التربة.

## الأساس العلمى لاستخلاص الأملاح بالكمادات : [٣]

يعتمد الأساس العلمى لاستخدام الكمادات فى استخلاص الأملاح على خاصية الامتصاص العالية لمادة الكمادة بالإضافة إلى القوى المؤثرة فى حركة السوائل حيث تنتقل المياه فى البداية من الكمادة إلى الأسطح الحجرية طبقاً لخاصية الانتشار حيث تنتقل المياه من التركيز الأعلى فى كمية الماء إلى المناطق التى بها تركيز منخفض داخل الجدران الحجرية وبانخفاض كمية الماء فى الكمادة عنها فى الجدران ينعكس اتجاه سريان الماء ليصبح من داخل بنية الأحجار إلى الخارج إلا أنه فى هذه الحالة يكون فى صورة محلول ملحى حيث تترسب الأملاح على سطح الكمادة طبقاً لفيزيائية المحاليل الملحية وتبلور الأملاح فى الصورة الصلبة حيث تتكون بلورات الأملاح بين السطح الصلب وهو أسطح الأحجار وبين السطح الغازى وهو الهواء الجوى بما فيه من غازات ولذلك يشترط عند تطبيق الكمادات أن تكون ملتصقة جيداً بالسطح الحجرى حتى لايكون هناك مساحة فارغة بين الكمادة وسطح الأثر تسمح بترسيب الملح عليه وتتم علمية الاستخلاص فى هذه الحالة ببطء شديد [٤].

## أنواع الكمادات وطرق تطبيقها

تنقسم أنواع الكمادات إلى قسمين طبقاً للمواد المستخدمة فى عملها ، القسم الأول وهو كمادات معادن الطفلة مثل السيبيولايت والأتابولوجيت والبنتونيت والقسم الثانى هو كمادات المواد الصناعية كالأنسجة الورقية وبودرة السليولوز واللباد حيث يتم إعدادها بأسلوب خاص لعملية الاستخلاص .

### أ- كمادات معادن الطفلة

معادن الطفلة مثل السيبيولايت والاتابولوجيت والبنتونيت الذى يوجد فى بعض الأماكن فى مصر وله خاصية غروية ويمتص اضعاف حجمه من الماء متحولاً إلى عجينة [٥] وهذه المعادن شرهة لامتصاص الماء حيث يتم إعدادها بخلطها بالماء ويتم إضافة معادن الطفلة للماء وليس العكس حتى لاتتعرض للتكلس ونحصل على عجينة سميكة غير متجانسة لا تصلح لعمليات الاستخلاص ثم يتم وضع الكمادة على أسطح المآذن الأثرية فى الأماكن

---

( 1) Vitina, I., et al: Problems Of Soluble Salts In The Monuments Of Lativia, In: 8Th Inter. Cong.. Berlin, Germany, 1996,P.477.

( 2) Ashurst, J. And Ashurst, N.: Op.Cit.,1988,P.135.

( 3) Jedjeijwsk A, H.: Op. Cit., 1970,P.29 .

( 4) Bradley, S. M. And Hanna, S. B.: Op. Cit., 1986,P.61.

(٥ ) علام محمد علام : علم الخزف ، مكتبة الأنجلو المصرية ، بدون تاريخ ، ص١٧٢ .

المراد استخلاص الأملاح منها حيث يسبق ذلك رش هذا الجزء من المئذنة بالماء وتنديته وتطبق فى صورة طبقة بسمك من ٢-٢,٥ سم وتترك الكمادة على السطح حيث تمتص الكمادة الأملاح فى صورة محاليل ملحية من داخل الجدران وعند تبخر الماء يحدث تزهر للأملاح على سطح الكمادة ولزيادة فاعلية الكمادة من الممكن أن تخلط معها قصاصات الورق التى يتم إعدادها عن طريق نقعها فى الماء [١] وتم تطبيق هذه الطريقة بنجاح فى الكثير من الآثار الإسلامية بمدينة القاهرة ويتم إزالة مكونات الكمادة ميكانيكياً بواسطة الفرش والأدوات المناسبة .

### ب- الكمادات الورقية

يتم غمر قصاصات الورق ونقعه فى الماء المقطر حتى تتحول [٢] إلى عجينه كما يمكن استخدام بودرة السليلوز وورق الترشيح وورق النشاف والورق اليابانى واللباد ويتم تطبيقها على سطح المئذنة فى المناطق المراد استخلاص الأملاح منها بسمك لا يقل عن ٧ مم ويتم تكرار هذه الكمادة عدة مرات إذا تطلب الأمر [٣] للحصول على النتيجة المطلوبة .

## رابعاً : تقوية وعزل الأسطح الحجرية للمآذن الأثرية

تتعرض الأحجار ومواد البناء فى المآذن للتلف بفعل عوامل التلف المختلفة ومن أهمها تبلور الأملاح بين حبيباتها مما يؤدى إلى تفككها وتآكل أسطحها ولذلك تحتاج الأحجار ومواد البناء إلى تقوية البنية الداخلية وتعويض المادة الرابطة المفقودة بمادة رابطة جديدة تؤدى إلى زيادة قدرة الأحجار على التحمل للضغوط والأحمال كما تحتاج أسطحها إلى تطبيق مادة عازلة للأسطح الحجرية ضد تأثير الرطوبة الجوية بمصادرها المختلفة سواء مياه الأمطار أو التكثف أو بخار الماء وكذلك العزل ضد تأثير عوامل التلف الأخرى[٤] ونجد أن هناك الكثير من مواد التقوية للأحجار وتنقسم طبقاً لخواصها الكيميائية إلى مواد مقوية غير عضوية ومنها المقويات السيليكانية مثل سيليكات الصوديوم وسيليكات البوتاسيوم وأيضاً الهيدروكسيدات الأرضية القاعدية Alkal ine Earth Hydroxides مثل هيدروكسيد الكالسيوم (ماء الجير) [٥] وهيدروكسيدى الباريوم والاسترانشيوم ولكن بعد سنوات من استخدام هذه المواد المقوية وجد أن لها تأثيرات سلبية على الأحجار ومواد البناء حيث نجد مثلاً أن المواد السيليكاتية تنتج مركبات ثانوية عند التفاعل تؤدى إلى زيادة محتوى الأحجار من الأملاح[٦] حيث قد تؤدى بعد ذلك إلى حدوث تلف للأحجار المعالجة بها أما الهيدروكسيدات الأرضية القاعدية فنجد أن بلورات الكربونات المتكونة مثل كربونات

---

(1) Ashurst, J. And Ashurst, N. : Op. Cit.,1988,P.135.

(2) Vintina, I. Et al.: Op. Cit., 1996,P.479.

(3) Ashurst, J. And Ashurst, N.: Op. Cit., 1988,P.136.

(4) Lanterna, G.: Mineral In Organic Treatments For The Conservation Of Calcareous Artefacts, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.388.

(5) Maxova, I.: Changes In Properties Of Stone Treated With Historical Or Modern Conservation Agents, In : Proceedings Of Thr9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.396.

(6) Lanterna, G.: Op. Cit., 2000,P.389.

الباريوم تكون أكبر حجماً من بلورات الكالسيت مما يؤدى إلى حدوث تلف بفعل الضغوط الناشئة عن هذه البلورات [١] كما وجد من خلال التجربة أن ماء الجير لا يصلح لتقوية الجدران الحجرية ذات السمك الكبير حيث يتحد ماء الجير مع ثانى أكسيد الكربون لتكوين كربونات الكالسيوم [٢] التى تعمل كمادة رابطة بين حبيبات الأحجار بدلاً من المادة اللاحمة المفقودة نتيجة عوامل التلف المختلفة [٣] وتترسب هذه المادة الرابطة الجديدة فى مسام الطبقة السطحية وتمنع نفاذ أى كميات جديدة من ماء الجير المستخدم للمعالجة [٤] إلا أن الجير المطفأ حديثاً أمكن استخدامه بنجاح لتقوية منحوتات (تماثيل) صغيرة حيث تم تطبيقها على السطح على هيئة طبقة بسمك ٣٣مم وأعطت نتائج جيدة . ولا تتميز المقويات غير العضوية بخاصية المنع للماء مما أدى إلى اتجاه الباحثين والعلماء فى مجال تقوية الآثار الحجرية إلى الراتنجات الصناعية أو المقويات العضوية OrganicConsolidants وهى عبارة عن مقويات عضوية مختلفة ذات أوزان جزيئية عالية التبلمر تنتج من التفاعل الكيميائى لأثنين أو أكثر من نفس جزيئات المركب الواحد أو من جزيئات من مركبات مختلفة ويطلق مصطلح البلمرة Polymerization على التفاعل الذى يحدث للجزئى الابتدائى المعروف باسم المونمر Monomer ، وتستخدم المقويات العضوية لتقوية الأحجار إما فى صورة Polymers أى بوليمرات وهى الناتجة عن اتحاد لأثنين أو أكثر من نفس جزيئات المركب أو فى صورة Co- Polymers وهى تنتج من اتحاد لأثنين أو أكثر من جزيئات من مركبات مختلفة أو فى صورة Monomers أى مونمرات أو جزيئات أحادية ذات وزن جزيئى صغير [٥] وتستخدم المذيبات العضوية لتخفيف لزوجة هذه المركبات لتحقيق توغل وانتشار أكبر داخل الأحجار ومواد البناء، ومن أهم المواد المقوية العضوية المستخدمة فى تقوية الأحجار راتنجات الاكريلك وكذلك راتنجات السيلان والسيلوكسان والتى يتميز بعضها بخاصية المنع للماء [٦] أو الطرد للماء حيث يجعل الأحجار أو مواد البناء المعالجة بها طاردة للماء Wate r Repellent Materials.

## أولاً : مركبات الاكريلك Acrylic Compounds

تعتبر مركبات الأكريلك من راتنجات الثرموبلاستيك Thermoplastic Resins وهى تتكون بصفة أساسية من حمض الأكريلك $CH_2=COOH$ أو من حمض الميثاكريلك $CH_2=CH-COOH$ أو من استراتها وهى تستخدم فى صورة مونمرات Monomers ذات أوزان جزيئية صغيرة أو فى صورة بوليمرات Polymers كما يتم عمل محاليل حقيقة منها True Solutions عن طريق إذابتها فى مذيبات عضوية مثل الأسيتون والطولوين والكحول الإيثيلى والزايلين تستخدم فى تقوية الأحجار ومواد البناء أو تستخدم للتقوية فى هيئة مستحلب Emulsion حيث

---

( 1) Maxova, I.: Op. Cit., 2000,P.397.

( 2) Linke, W.: Solubility Of In Organic And Metal Organic Compounds Vol. I, Van Nostrand, London, 1958,P.117.

( 3) Elmofty , S.M.: Growth And Formation Of New Crystals On Ancient Stone And Mortar Mixes , Journal Of The Egyption Society Of Engineers , Vol.42, No.1,2003,P.34.

( 4) Lewin, S.Z.: The Conservation Of Limestone Objects And Structures In Study Of Weathering Of Stone, Vol.1, International Council Of Monuments And Cites, Paris, 1968,P.192.

( 5) Tomanek, A.: Silicones And Industry, Munich, Hanser, Second Ed, 2002,P.130 .

( 6) Boos, M. et al: Modified Elastic Silicic Acid Ester Applied On Natural Stone And Tests Of Their Efficiency, In : Proceeding Of The 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin Germany, 1996,P.1179.

يتم عمل معلق فى الماء منها [١] وتستخدم مخففة جداً نظراً للزوجتها العالية ومن المونمرات المستخدمة الميثيل ميثاكريلات Methyl Methacrylate والبيوتيل ميثاكريلات Butyl Methacrylate وذلك فى صورة محلول فى مذيب عضوى أو فى صورة مستحلب فى الماء ومن البوليمرات Polymers المستخدمة [٢] البولى ميثيل ميثاكريلات Poly Methyl Methacrylate وغيره ومن المركبات الأكريليكية المتاحة تجارياً مركبات البارالويد [٣] ومنها البارالويد ب٧٢ Paraloid- B72 وهو بوليمر مشترك من الأيثيل ميثاكريلات والميثيل اكريلات وكذلك البار الويد ب٤٤ Paraloid-B44 ويتركب أساسا من الميثيل اكريلات Methyl Acrylate وهى تذاب فى مذيبات عضوية لتعطى محاليل حقيقية تستخدم مخففة لتقوية الأحجار ومواد البناء ومن المركبات الأخرى المتاحة تجارياً والتى تستخدم فى صورة مستحلبات مخففة مع الماء مركبات البريمال مثل البريمال دبليو اس ٢٤ Primal WS 24 وتركيبة الكيميائية عبارة من استرات لحمض الاكريلك $CH_2=CH-COOH$ وحمض الميثاكريلك $CH_2=COOH$ وكذلك مركب Dispersion K6 Glanz وتركيبة الكيميائية ميثيل اكريلات Ethyl Acrylate ويستخدم كمستحلب لتقوية الأحجار والمونات .

## ثانياً : مركبات الالكوكسى سيلان Alkoxy Silane Compounds[٤]

تعتبر مركبات الألكوكس سيلان من أفضل المواد حالياً لتقوية الأحجار ومواد البناء كما أن بعضها يستخدم كذلك فى عمليات عزل الأسطح الحجرية عن مصادر الرطوبة الجوية حيث أن لها خاصية المنع ضد الماء Water Repellency وتستطيع الجزيئات الصغيرة Monomers من مركبات الألكوكسى سيلان والتى تكون غالباً ذات لزوجة منخفضة Low Viscosity أن تتبلمر Polymerize بالتفاعل مع الماء فى وجود أو فى عدم وجود عوامل حفازة Catalysts حيث تعطى بوليمرات Polymers تحتوى على روابط بين السيليكون والأكسجين فى جزيئاتها وهذه المركبات تتميز بالثبات[٥] ونظرياً نجد أن مركبات الالكوكسى سيلان تنتشر بعمق داخل الأحجار وتتبلمر بشكل متجانس لتعطى مادة مقوية Consolidant قوية وثابتة [٦].

ومن خلال عملية التطبيق لمركبات السيلان فى مجال تقوية الآثار الحجرية وجد أن هناك بعض الأمور التى تحتاج إلى المزيد من الدراسة والتفسير وذلك لأسباب كثيرة منها الطرق المناسبة للتطبيق وتذبذب الرطوبة النسبية

---

(1) Munnikendam, R.A.: Acrylic Monomer Systems For Stone Impregnation, New York, 1970,Pp.15-18.

(2) Lewin, S.Z.: Op. Cit., 1968,P.194.

(3) Vicini, S.: Chemistry For Conservation Of Cultural Heritage: Application Of In Situ Polymerization For The Consolidation And Conservation Of Stone, Venice, 2000,P.421 .

(4) Bradley, S.M.: Evalution Of Organosilanes For Use In Consolidation Of Sculpture Displayed Indoors In : Deterioration And Conservation Of Stone, 5th International Congress, Lausanne, 1985,P.239.

(5) Koblischek, P.J. :Op. Cit., 1996,P.1189.

(6) Koblischek , P.J.: The Consolidation Of Natural Stone With A stone Strengthener On The Basis Of Poly- Silcic- Acid- Ethyl Ester, In 8th International Congress, Berlin, Germany, 1996,P.1188.

واختلافاتها فى الجو المحيط بالمبانى الأثرية ومحتوى الأحجار من الرطوبة Moisture Content In Stone [١] والتنوع فى تركيب الأحجار ونسيجها ومكوناتها المعدنية ، إلى جانب العوامل الحفازة Catalysts والتى يتم توظيفها فى بعض الأحيان لزيادة تفاعل البلمرة Polymerization Reaction [٢]

ومن أهم مركبات الألكوكسى سيلان مركب MethylTri Methoxy Silane ويرمز له بالرمز (MTMOS) ومركب تترا ايثوكسى سيلان[٣] Tetra Ethoxy Silane ويرمز له بالرمز (TEOS)

## أ- مركب تترا ايثوكسى سيلان TetraEthoxy Silane (TEOS)

مركب Tetra Ethoxy Silane هو عبارة عن سيليكات الايثيل Ethyl Silicate تركيبه الكيميائية $Si(OC_2H_5)_4$ وهو من مركبات السيليكون التى تستخدم فى تقوية الآثار الحجرية وتتميز بعده مميزات منها[٤].

(١) تنتشر المادة بين حبيبات الأحجار ومواد البناء مكونة قوة ربط كبيرة بين الحبيبات وبعضها البعض .

(٢) لا تسبب تبقع أو تغير لون الأحجار أو مواد البناء المعالجة بها لأنها شفافة بشرط أن يكون المذيب المستخدم لتخفيفها على درجة عالية من النقاء وخالى تماما من الشوائب مثل الكحول الإيثيلى (الايثانول) Ethanol.

(٣) تقاوم عوامل التلف المحيطة بالآثر بشكل كبير كما تتميز بدرجة ثبات عالية ضد الأشعة فوق البنفسجية الناتجة من أشعة الشمس .

(٤) لا تسبب تكون مركبات ثانوية ضارة حيث ينتج عنها الكحول الإيثيلى [٥] كناتج ثانوى يتطاير ويتبخر.

ويتم الحصول على مركب سيليكات الإيثيل من خلال تفاعل حمض السيليسيك $Si(OH)_4$ مع الكحول الايثيلى $C_2H_5OH$ حيث ينتج مركب سيليكات الإيثيل Elthylsilicate بالإضافة إلى الماء كما بالمعادلة الآتية[٦]

$$Si(OH)_4 + 4EtOH \rightarrow Si(OEt)_4 + 4H_2O$$

Silicic Acid Ethanol Ethylsilicate

وعند تقوية يليكاالأحجار ومواد البناء بمادة سيليكات الإيثيل يحدث تفاعل تميؤ حيث تتميأ وتكون السيليكا الجيلاتينية (Silica Gel ) بالإضافة إلى الكحول الإيثيلى الذى يتطاير طبقا للمعادلة الآتية[٧]

$$Si(OEt)_4 + 4H_2O \xrightarrow{Cat.} Sio_2aq + 4EtOH \uparrow$$

Ethyl Silicate Silica Gel Ethanol

---

( 1) Tomanek, A.: Op. Cit., 2002,P.139.

( 2) Theoulakis, P. And Tzamalis, A.: Effectiveness Of Surface Treatments For Sedimentary Limestone In Greece, In: 9th International Congress, Venice, 2000,Pp.494-496.

( 3) Thickett, D.: Assessment Of The Performance Of Silane Treatments Applied To Egyptian Limestone Sculptures Displayed In A museum Environment, In: 9th International Congress. Venice, 2000,P.510.

( 4) Tomanek, A.:Op. Cit., 2002,P.133.

( 5) Boos, M. et al. Op. Cit., 1996,P.1180 .

( 6) Norman, R.W.: Development And Assessment Of A Conversion Treatment For Calcareous Stone, In : 9th Inter. Congress, Venice, 2000,Pp.536-538.

( 7) Vicini, S.: Op. Cit., 2000,P.422.

ثم تفقد السيليكا جيل الماء المتحد بها فيزيائيا وتتحول إلى السيليكا الجافة $SiO_2$ والتى تعمل كمادة رابطة جديدة بين حبيبات الأحجار ومواد البناء وتؤدى إلى تقويتها وتحسين خواصها الميكانيكية مع السماح بنفاذ بخارا لماء خلال المسام والقنوات الشعرية التى تنشأ عن تبخر الماء من السيليكا الجيلاتينية وتحوله إلى السيليكا الجافة (١) .

## ب- مركب ميثيل تراى ميثوكسى سيلان MethylTri Methoxy Silane

يعتبر هذا المركب أحد مركبات الألكيل الكوكسى سيلان Alkyl Alkoxysilane وتركيبه الكيميائى $CH_3(Si)(OCH_3)_3$ وهو من المركبات التى تتميز بخاصية المنع ضد الماء Water Repellency وهذه المركبات تستخدم بنجاح لعزل الأسطح الحجرية ضد مصادر الرطوبة الجوية وكذلك تقوية الطبقات السطحية ويرجع ذلك إلى أن مركبات الالكيل الكوكسى سيلان تتميأ فى الماء مكونة راتنج السيليكون Silicon Resin الذى يحتوى على ثلاثة أو أثنين من الروابط المتقاطعة بين السيليكون والأكسجين بالإضافة إلى أن كل ذرة سيليكون فى الجزئ تحمل مجموعة ألكيل "R" عادة تكون مجموعة ميثيل $CH_3$ ويتم إذابتها فى مذيب عضوى مثل Ethanol الكحول الأيثيلى وتعتمد درجة ذوبانها على الوزن الجزيئى للمركب والذى يتوقف على نوع مجموعات الألكوكسى الموجودة مثل مجموعة الميثوكسى $O-CH_3$ أو الإيثوكسى $O-C_2H_5$ وغيرها (٢) ، وعند تطبيق المادة على سطح الأثر الحجرى ترتبط مع السطح عن طريق رابطة الأكسجين والسيليكون Si-O-Si حيث ترتبط ذرات الأكسجين من المادة مع المواد السيليكاتية الموجودة ضمن تركيب ومكونات الأحجار ومواد البناء والمونات مكونة راتنج السيليكون الذى يعطى السطح الحجرى خاصية الطرد أو المنع ضد تأثير الماء Water Repellent Material (٣) .

## خامسا : ترميم العراميس (الفواصل) الأفقية والرأسية بين الأحجار فى المآذن الأثرية

تتعرض المونة الموجودة داخل العراميس (الفواصل) الأفقية والرأسية بين الأحجار فى المبانى الأثرية للتلف وسقوط أجزاء كبيرة منها وفقدانها بعد أن تتعرض للهشاشية والتفكك بفعل تأثير الرطوبة والحرارة وتبلور الأملاح بين مكوناتها والتلوث الجوى وغيرها من عوامل التلف مما يؤدى إلى زيادة معدلات التلف لجدران المآذن الأثرية التى فقدت مونة الفواصل بين أحجارها(٤) ، ومن الجدير بالذكر أن هذه الفواصل تم ملئها بالمونة خلال عملية البناء ولم يتم عملها بشكل زخرفى فى النهاية حيث كانت تنتج هذه الفواصل المملوءة بالمونة كلما تقدم البناء ولكن بعد مرور فترات طويلة على هذه المونة وتعرضها للتلف والتساقط نجد أنها تساهم بشكل كبير فى زيادة التلف للمآذن الأثرية

---

(1) Norman, R.W., Op. Cit., 2000,P.539.

(2) Elizabeth, G.: The Effect Of Sandstone, Limestone, Marble And Sodium Chloride On The Polymerization Of MTMOS Solutions In : 8th International Congress, Berlin, Germany, 1996, Pp.1246-1247.

(3) Bradley, S.M.: Op. Cit., Lausanne, 1985,P.241.

(4) Ashurst , J. : Mortars For Stone Buildings , In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, P.85.

ولذلك لابد من إعادة ملئها وترميمها[١] ويتم ذلك فى مراحل متعددة تشمل تنظيف العراميس (الفواصل) الأفقية والرأسية ثم إعداد المونة المناسبة لعملية الترميم ثم عملية ملء العراميس (الفواصل) وترميمها وذلك كما يلى :-

## (١) عملية تنظيف العراميس (الفواصل) من بقايا المونة القديمة

يجب أن يتم تنظيف العراميس (الفواصل) الأفقية والرأسية من بقايا المونة القديمة بحيث لا تقل عمق العراميس بعد تنظيفها عن ٢٥مم (٢,٥سم) وقد تزيد عن ذلك بزيادة الفواصل بين الأحجار وكذلك حسب مدى التلف التى تعرضت له المونة القديمة[٢] ، وتتم عملية التنظيف ميكانيكياً باستخدام الازاميل والعدد المعدنية المناسبة بدون إحداث أى تلف لكتل الأحجار مع استخدام ضغط الهواء إذا تطلب الأمر ويتم العمل من أعلى الجدار إلى اسفل وفى حالة وجود إصابات فطرية يجب معالجتها برش المبيد الفطرى المناسب ثم يتم استكمال عملية التنظيف للفواصل[٣] .

## (٢) عملية إعداد المونة المناسبة لملء العراميس (الفواصل)

يتم مراعاه تكوين مونة الملء من نفس مكونات المونة الأثرية الأصلية من الجير ومسحوق الحجر الجيرى وغيرها مع استبعاد المكونات الضارة التى تسبب تكوين أملاح فيما بعد مثل الجبس حيث تملأ الفواصل بالمونة ويفضل استخدام مونة مكونة من الجير ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ٢:١ بالوزن مع استخدام ماء الجير فى عملية الخلط بالنسبة للطبقة السطحية من الفواصل بين الكتل الحجرية ويتم مراعاه اعطاء المونة نفس لون المونة الأثرية الأصلية باستخدام الاكاسيد الملونة[٤] وعند إعداد المونة يراعى خلط المكونات مع بعضها البعض فى صورة جافة أولاً ثم يتم وضع نصف الكمية المطلوبة من ماء الجير على المكونات ويتم الخلط الجيد لماء الجير مع المكونات ثم نضع باقى كمية ماء الجير إلى الخليط حتى نحصل على القوام المناسب لعملية ملء (تكحيل) العراميس[٥] .

## (٣) عملية ملء العراميس (الفواصل) بين كتل الأحجار

يتم أولاً ترطيب الفواصل باستخدام الماء لإعدادها لاستقبال المونة الجديدة التى يتم وضعها باستخدام العدد اليدوية المناسبة لهذا الغرض ويراعى ملء الفواصل التى تآكلت بعض حواف الكتل الحجرية فيها بالطريقة الصحيحة حيث ينخفض سطح المونة إلى أقل من مستوى الجزء المفقود من حافة الكتلة الحجرية لكى يتم استكمال الفواصل

---

(1) Mark, L.: Masonry, How To Care For Old And Historic Brick And Stone, London, 1988, P.119.

(2) Peterson, S., Lime Water Consolidation, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.193.

(3) Ashurst, J. : Mortars For Stone Buildings, In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, P.86.

(4) Mark, L.: Masonry, How To Care For Old And Historic Brick And Stone, London, 1988, P.121.

(5) Peroni, S. et al., : Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.214.

بالطريقة الصحيحة[١]، وفى حالة وجود فواصل صغيره جدا يتم وضع شرائح من شمع الأسنان أو شرائط لاصقـــه على جانبى الفاصل حيث يتم استكماله بدون إحداث تلف للكتل الحجرية المجاورة له[٢] .

## ٤) عملية التنظيف والتشطيب النهائى

تترك الفواصل التى تم ملئها وترميمها لمدة قد تصل إلى حوالى ٦٠ دقيقة ثم يتم إزالة الزوائد من المونة وتنظــف الأسطح الملاصقة لها ويتم إزالة بعض المونة الزائدة من الفواصل وتسويه أسطحها بحيث تكــون منخفضــة عــن حواف الكتل الحجرية بحوالى ٥مم بحيث نأخذ فى الاعتبار أن تنخفض المونة بنفس النسبة عند الحواف المفقودة من الكتل الحجرية[٣] ثم يتم تنظيف السطح بشكل عام من أى عوالق أو اتساخات أو بقايا مونة موجودة عليه[٤] وبذلــك تكون قد تمت عملية ملء وترميم العراميس (الفواصل) بين الكتل الحجرية .

---

( 1) Ashurst , J. : Mortars For Stone Buildings , In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, P.86.

( 2) Mark , L.: Op. Cit., 1988, P.122.

( 3) Ashurst , J. : Mortars For Stone Buildings , In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, PP.86-88.

( 4) Peroni, S. et al., : Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.216.

# الفصل الخامس

## التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث أثر رقم (٢٨٦)

يتناول هذا الفصل الجانب التطبيقى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث ، أثر رقم (٢٨٦) بمنطقة عين الصيرة ، وقد تم ذلك من خلال ثلاثة مراحل هى :

## (١) الدراسات الأولية التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة

وذلك لتشخيص حالة المئذنة فى الوضع الراهن وتتضمن هذه الدراسات .

- الدراسة التاريخية والوصف الأثرى والمعمارى للمئذنة . – التسجيل والتوثيق الأثرى .
- الرصد المساحى للمئذنة . – مراقبة مدى التغير فى ميول المئذنة ومدى ثباتها مساحياً .
- فحص ودراسة مواد بناء المئذنة ( الفحص بواسطة الميكروسكوب المستقطب – الفحص بواسطة الميكروسكوب الألكترونى الماسح [SEM] – التحليل بواسطة حيود الآشعة السينية XRD – تعيين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للحجر الجيرى المستخدم فى بناء المئذنة – قياس محتوى الرطوبة فى المئذنة ) .
- الدراسة الميكروبيولوجية للأحجار الجيرية بالمئذنة .
- دراسات التربة ورصد منسوب المياه الجوفية والكشف عن الأساسات .
- التحليل الإنشائى للمئذنة باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلى .
- دراسات المحيط الأثرى للمئذنة ( دراسات تخطيطية وعمرانية ) .

## (٢) الدراسات التجريبية المعملية لمواد وطرق علاج وترميم وصيانة المئذنة.

تحتوى المئذنة على طبقات كثيفة من السناج خاصة فى منطقة قاعدة المئذنة وتحتاج هذه الطبقات إلى تنظيف وإزالة كما تعرضت أسطح الأحجار بالمئذنة إلى التآكل والتفتت والانفصال وتحتاج إلى استخدام مواد تقوية وعزل عن تأثير الرطوبة وقد تضمنت هذه الدراسات .

- الدراسة التجريبية المعملية لتنظيف وإزالة السناج .
- الدراسة التجريبية المعملية لتقييم المواد المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بالمئذنة .

## (٣) عمليات العلاج والترميم والصيانة للمئذنة .

من خلال الدراسات الأولية التى تم إجرائها قبل عمليات العلاج والترميم والصيانة لدراسة الوضع الراهن للمئذنة تبين ثبات المئذنة وإتزانها إنشائياً ولا تحتاج إلى إجراء عمليات ترميم إنشائى بينما تحتاج المئذنة إلى إزالة طبقات الردم المحيطة بها والعودة إلى منسوبها الأصلى وإلى عمليات ترميم معمارى حيث أن قمتها مفقودة وتحتاج إلى استبدال بعض كتل الأحجار التالفة كما تحتاج إلى تصميم سلم للصعود إلى باب الدخول إلى المئذنة المرتفع عن الأرض كما تحتاج المئذنة إلى عمليات ترميم دقيق لمعالجة مظاهر التلف المختلفة التى سيتم توضيحها من خلال الدراسات الأولية وقد تم ذلك كما يلى .

- إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات حتى منسوب أرضية المئذنة .
- أعمال الترميم المعمارى للمئذنة ( إقتراح باستكمال قمة المئذنة ، وعمل سلم للوصول إلى باب المئذنة المرتفع عن الأرض ، استكمال بعض كتل الأحجار المفقودة أسفل باب المئذنة ، استبدال بعض كتل الأحجار التالفة بقاعدة المئذنة ).
- إجراء أعمال الترميم الدقيق للمئذنة وتتضمن :
- عمليات التنظيف الميكانيكى والكيميائى وإزالة السناج .
- خطة للعزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة .

- استخلاص الأملاح من جدران المئذنة بواسطة الكمادات .
- عمليات التقوية للأحجار الجيرية والمونات بالمئذنة .
- تنظيف وملء اللحامات (العراميس) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار بالمئذنة .
- عمليات العزل الرأسى للأسطح الحجرية للمئذنة لصيانتها من التلف مرة أخرى .
- عمليات تأهيل وتنسيق الموقع المحيط للمئذنة .

**وفيما يلى مراحل التطبيق العملى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى .**

## (١) الدراسات الأولية التى تسبق عمليات العلاج والترميم والصيانة (الوضع الراهن للمئذنة)

تشمل الدراسات الأولية الدراسة التاريخية والوصف الأثرى والمعمارى والتسجيل والتوثيق الفوتوغرافى والمعمارى وأعمال الرصد المساحى والفحوص والتحاليل لمواد بناء المئذنة ودراسات التربة ورصد منسوب المياه الجوفية والكشف عن الأساسات والتحليل الإنشائى لحساب الأحمال المؤثرة على المئذنة ودراسات المحيط الأثرى للمئذنة الواقعة فى منطقة الإمام الليث وفيما يلى هذه الدراسات .

## أولاً : الدراسة التاريخية والوصف الأثرى والمعمارى للمئذنة

أنشأ الأمير يشبك من مهدى وهو أحد أمراء الملك الأشرف قايتباى المئذنة عام (٨٨٣هـ/١٤٧٩م) فى الطرف الجنوبى الغربى من مسجد الأمام الليث وهى منفصلة عنه (مستقلة) وتعود المئذنة إلى العصر المملوكى الجركسى ، ومسجد الأمام الليث مبنى فوق مدفن الإمام الليث بن سعد بن عبد الرحمن الفهمى فقيه مصر واحد أعلامها والمتوفى بها عام (١٧٥هـ/٧٩١م) ، والموقع أساساً هو جزء من مقابر الصدقة بالقرافة الصغرى وهى إحدى القرافات القديمة بالقاهرة المملوكية وكان لمدفن الإمام الليث مكانة مميزة بين أهل القاهرة وملوكها فأصبح الموقع مزارا يقرأ فيه ختمات القرآن وتوزيع الصدقات تقرباً إلى الله وتطورت مبانى الأثر منذ أن كان مدفناً للإمام الليث فى عام (٧٩١م) ، فأجريت أول أعمال للبناء فيه بعد حوالى (٤٥٠ عاماً) من هذا التاريخ بعد أن زادت قيمة المكان ثم أجريت عليه تجديدات وإضافات وتبديل فى سنوات متعاقبة حتى اكتمل فى صورته الحالية فى عام (١٨٧٧م) وحالياً يقوم الأثر بنفس الوظيفة التى أنشأ من أجلها حيث يستعمل كمسجد للصلاة ومزاراً شعبياً لمقام الإمام الليث ويوضح الشكل رقم (٢٨) التاريخ الذى بنيت فيه مئذنة يشبك من مهدى وعلاقتها بالفترات التاريخية الخاصة بأعمال البناء المختلفة بمسجد الإمام الليث بن سعد [١] .

## الوصف الأثرى والمعمارى للمئذنة

كان الأمير يشبك من مهدى من بين الذين أسهموا بأموالهم فى تحويل ضريح الإمام الليث بن سعد إلى مسجد كبير وأنشأ له مئذنة تقع فى طرفه الجنوبى الغربى وتبعد عنه بمقدار ١٤ متراً، وهى تطل على واجهته الغربية حيث يوجد باب خلفى للمسجد وتقع هذه المئذنة والمسجد بوسط مقابر جبانة الإمام الليث بن سعد بجنوب القاهرة ويحدها من الشمال حيث المدخل الرئيسى للمسجد شارع الغفارى وشارعى الإمامين الليث

---

١ ) المجلس الأعلى للآثار : قطاع المشروعات ، الدراسات الاستشارية الخاصة بمشروع ترميم جامع الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى ، ٢٠٠٢م

١٩٩٢ | - أعمال الصلب بعد زلزال أكتوبر

١٩٤٠ | - ترميمات لجنة حفظ الاثار العربية
١٩٣٨ | - ترميمات لجنة حفظ الاثار العربية
١٨٨٤ | - تجديدات لجنة حفظ الأثار العربية
١٨٧٧ | - تجديدات اسماعيل بك راتب
١٨٦٠ | - تعديلات الأمير مصطفى أغا

١٧٨٦ | - تعديلات
١٧٨٠ | - تجديدات

١٧٣٦ | - تجديد الأمير موسى جورجى ميرزا مستحفظان (القبة والمقصورة)

١٥٠٥ | - تجديد السلطان الغورى

١٤٧٩ | - إنشاء المئذنة للأمير يشبك بن مهدى

١٤٢٩ | - تجديد السيدة مرحبا ابراهيم
١٤٠٨ | - تجديد الشيخ أبو الخير المادح
١٣٧٨ | - تجديد الحاج سيف الدين المقدم وإنشاء القبة الضريحية

١٢٤٢ | - إنشاء أبو زيد المصرى بناء فوق المقبرة

٧٩١م | - وفاة الإمام الليث ودفنه فى مكان الأثر

شكل رقم (٢٨) يوضح تاريخ إنشاء مئذنة يشبك من مهدى ضمن أعمال البناء الخاصة بمسجد الإمام الليث .

(عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار )

والشافعى كما يحدها من جهة الشرق شارع الإمام الشافعى الممتد من ضريح الإمام الشافعى شمال المسجد أما من جهة الجنوب والغرب فيحيط بالمسجد والمئذنة مقابر جبانة الإمام الليث[1] ، ويقع خلف المسجد من جهة الغرب ساحة تسمى (ميدان الساري) تطل عليه المئذنة ويبدو أن تشييد مسجد وضريح الإمام الليث على فترات زمنية كان له أثره فى إقامة المئذنة منفصله (مستقلة) عنه تماماً بالطرف الجنوبى الغربى ، وقد يرجع ذلك لعدم توفر المساحة اللازمة للمئذنة بالمسجد نفسه وتدبيرها ضمن العناصر المكونة للبناء كوحدة شاملة كما هو الحال بالنسبة للمساجد التى تندمج مآذنها ضمن أبنيتها بحيث يصبح المبنى كله وحده معمارية متكاملة العناصر ، المئذنة مبنية من الحجر الجيرى ويبلغ ارتفاعها الكلى من مستوى الأرض حولها (١٧,٣٠ متر) وقد فقد الجزء العلوى منها والذى يتكون من الجوسق والخوذة على الأرجح ( حيث أن المئذنة تنتمى إلى الطراز المملوكى ) أثر زلزال كان قد حدث فيما مضى ، وتقوم المئذنة على ساباط (ممر نافذ) من اسفل يسمح بمرور الناس من أسفله ، والساباط قاعدتة مربعة ويبلغ طول ضلعه ( ٣,٢٥ متر ) كما يبلغ ارتفاع هذه القاعدة من مستوى سطح الأرض ( ٣,٣٠ متر ) والساباط مغطى بقبو نصف دائري سعة فتحته من أسفل (١,٤٠ متر ) وارتفاعه ( ٢,٣٠ متر ) ويعلو واجهة الساباط من أمام المئذنة وخلفها عقد نصف دائري يتكون كل منهما من سبع صنج بما فيها صنجة مفتاح العقد .

## قاعدة المئذنة

يعلو الساباط المذكور قاعدة المئذنة وهى مربعة الشكل ، إذ يبلغ طول ضلعها ( ٣ متر ) وتعلو هذه القاعدة فى أركانها الأربعة كسرات هرمية تحول بدن المئذنة إلى مثمن منتظم الشكل فتحت فى أربعة أضلاع منه أربعة نوافذ مستطيلة الشكل[2] .

## باب المئذنة

يقع باب المئذنة بواجهتها على ارتفاع قدره ( ٣,٣٠ متر ) من مستوى سطح الأرض وهو باب معقود يبلغ ارتفاعه ( ١,٧٥ متر ) وسعة فتحته من أسفل ( ٠,٧٥ ) ، ( كان يصعد إليه بواسطة درجات السلالم الحجرية فى نهايتها قنطرة من الحديد تصل بين السلالم والباب وهى غير موجودة الآن ) .

## جلسة الدورة الأولى للمئذنة

توجد الجلسة الأولى للمئذنة بنهاية البدن المثمن من اعلى وهو البدن الذى يعلو قاعدة المئذنة ، وهى تتكون من مثمنين أحدهما يعلو الآخر ويتدرج العلوى منهما حتى يتسع طول قطره فيصل إلى ( ٣,٩٠ متر ) وتعتبر هذه الجلسة من مميزات المئذنة وطرازها الخاص وهى نادرة الوجود فى المآذن الأخرى إذ أنها منقوشة بزخارف دقيقة بدلا من وجود مقرنصات بها وهو المعتاد رؤيته فى مئذنة السلطان قايتباى بقلعة الكبش بالقاهرة ( أثر رقم ٢٢٣ ) والتى ترجع إلى نفس الفترة ولكنها تسبق مئذنة يشبك فى البناء بثلاثة أعوام حيث ترجع إلى عام (٨٨٠ هـ / ١٤٧٥ م ) .

---

١ ) سامى أحمد عبد الحليم إمام : الأمير يشبك من مهدى وأعماله المعمارية بالقاهرة ، رسالة ماجستير ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٧٠م ، ص ٤٢

٢ ) عبد الله كامل موسى : تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربى وحتى نهاية العصر المملوكى ، دراسة معمارية زخرفية مقارنة مع مآذن العالم الإسلامى، رسالة دكتوراه، قسم الآثار الإسلامية، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٤م ، ص٢٦٥

## الدورة الثانية للمئذنة

تعلو الجلسة المذكورة سابقا الدورة الثانية للمئذنة وبدنها مستدير الشكل وتحيط به شرفة قاعدتها مثمنة ولها سياج من الخشب تستخدم فى الآذان وقد نقش بدن هذه الدورة بنقوش غاية فى الروعة والدقة تعتبر هى الأخرى من المميزات الخاصة بطراز المئذنة وينتهى البدن لهذه الدورة من أعلى بثلاثة صفوف من المقرنصات[١] .

## المئذنة من الداخل

تحتوى المئذنة من الداخل على عمود من الحجر(Newel ) أقيم بمنتصف قاعدتها المربعة ويرتفع منها حتى قمتها بارتفاع ( ١٤ متر ) ومثبت بهذا العمود ابتداء من باب المئذنة حتى نهاية دورتها الثانية من أعلى، سلم حلزونى يتكون من خمسة وخمسون سلمة حجرية يبلغ طول ضلع كل سلمة ( ٠,٦٤ متر ) وعرضها من ناحية العمود المذكور ( ٥ سم) وعرضها من ناحية جدار المئذنة ( ٢٥ سم ) ويبلغ طول القطر للعمود (٣٠سم ) وهو يحوى بداخله عند نقطة المركز عمود من الحديد المغلف بعمود آخر من النحاس الأصفر ويبلغ طول قطرهما معا ( ٣ سم ) ويظهر بوضوح بنهاية العمود بقمة المئذنة ووظيفة هذا العمود المعدنى حماية المئذنة من الصواعق العنيفة التى قد تؤدى إلى تدميرها [٢] .

## الكتابات الموجودة على بدن المئذنة

يحتوى بدن المئذنة من الخارج على شريطين من الكتابات النسخية المنقوشة بحيث تبدو حروفها بارزة وأرضيتها غائرة ويوجد أحد هذه الأشرطة بأعلى البدن المستدير للدورة الثانية للمئذنة ، أسفل صفوف المقرنصات ونصه كالتالى " بسم الله الرحمن الرحيم الله لا إله إلا هو الحى القيوم لا تأخذه سنة ولا نوم له ما فى السموات وما فى الأرض من ذا الذى يشفع عنده إلا بإذنه ....... وهو العلى العظيم " .

أما الشريط الكتابى الثانى فيوجد بدورة المئذنة الأولى منقوشا على أضلاع بدنها المثمن بحذاء قمة بابها ونصه كالتالى :-

١- أمر بانشاء هذا المنار المبارك المقر
٢- الأشرف العالى المولوى الأميري
٣- الكبيري المالكي المخدومي المجاهدى
٤- المرابطي المثاغرى المؤيدي الزخرى
٥- الهمامي القوامي السيدي السندي
٦- السيفي يشبك من مهدي أمير دوادار كبير الملكي
٧- الأشرفي عز نصره بتاريخ ربيع الآخر سنة ثلاث
٨- ( وثمانين وثمانمائة من الهجرة ) النبوية والحمد[٣]

ويحفل بدن المئذنة من الخارج بنقوش وزخارف غاية فى الدقة والابداع الفنى قوامها زخارف نباتية وهندسية بالاضافة إلى الزخارف الكتابية وهى منتشرة فى مناطق كثيرة على البدن الحجري للمئذنة فى دورتها الأولى

---

١ ) المجلس الأعلى للآثار : قطاع المشروعات ، الدراسات الاستشارية الخاصة بمشروع ترميم جامع الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى ، ٢٠٠٢م

٢ ) سامى أحمد عبد الحليم إمام : الأمير يشبك من مهدى وأعماله المعمارية بالقاهرة ، رسالة ماجستير ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٧٠م ، ص ٤٣

٣ ) المجلس الأعلى للآثار : قطاع المشروعات ، مرجع سابق ، ٢٠٠٢م

المثمنة ودورتها الثانية المستديرة ، وتنتهى المئذنة من اعلى بنهاية الدورة الثانية المستديرة بـــدون اســـتكمال لجزئها العلوى حيث انهارت قمتها العليا فى تاريخ غير معروف وهى فى الغالب على شكل جوسق محمـــول على أعمدة وهو طراز المآذن فى العصر المملوكى الجركسي [١].

## ثانيا : التسجيل والتوثيق الأثري

تم إجراء عملية التسجيل والتوثيق الأثري للمئذنة ويشمل التسجيل والتوثيق الفوتوغرافي لتحديد موقع المئذنـــة ومحيطها وطبيعة المنطقة الموجودة فيها واتجاهاتها من مسجد الامام الليث حيث أنها منفصلة عنه ( مستقلة ) وكذلك واجهات المئذنة وتفاصيلها المعمارية وزخارفها النباتية والكتابية وكذلك تسجيل وتوثيق الوضع الراهن لها وحالة التلف التى عليها ومظاهر التلف المختلفة الموجودة بها . كما تم إجراء التسجيل والتوثيق المعماري فى مجموعة من اللوحات المعمارية توضح واجهات المئذنة الأربعة وقطاعات فى أجزاءها المختلفة ولوحـــة توضح موقع المئذنة ومسجد الإمام الليث إلى جانب تفاصيل وزخارف المئذنة بالاضافة إلى ذلك تـــم توقيـــع مظاهر تلف المئذنة على مجموعة من اللوحات المعمارية كتحليل بصري لـــهاVisual Analysis وذلـــك كالتالى .

### (١) التسجيل والتوثيق الفوتوغرافي

تعتبر عمليات التسجيل والتوثيق الفوتوغرافي من العمليات الهامة التى نستطيع عن طريقها توثيـــق الوضـــع الراهن للمئذنة موضوع الدراسة التطبيقية وكذلك ربط المئذنة بالوسط المحيـــط بـــها وتوضيـــح تفاصيلـــها المعمارية المختلفة وتم ذلك كالتالى .

#### أ ــ التسجيل الفوتوغرافي للمئذنة والوسط المحيط بها

تقع المئذنة فى منطقة الامام الليث بالقرب من منطقة عين الصيرة وهى مئذنة منفصله عن مسجد الامام الليث ( مستقلة ) وتقع فى مساحة من الأرض فى الجهة الجنوبية الغربية لمسجد الامام الليث ويحيط بها مجموعـــة من المساكن الصغيرة العشوائية ويحيط بالمئذنة خاصة فى الجانبين الجنوبي الشرقي والجنوبي الغربى كميات كبيرة من القمامة والمهملات ويتضح ذلك من الصورتين رقمى (٢٨) ، (٢٩) بالاضافة لذلك تعتبر منطقـــة الامام الليث منطقة مقابر حيث يحيط بالمئذنة من جميع الجهات مجموعة كبيرة جدا من المقابر ونتبين ذلـــك من خلال الصورتين رقمى (٣٠) ، (٣١) وقد تم التقاطهما من فوق أحد المنازل بالجهة الجنوبية من المئذنـــة ويظهر بهما الامتدادات الأفقية الكبيرة للمقابر والمدافن ويظهر فى خلفية الصورتين جبل المقطم حيث تتبـــع منطقة الامام الليث التكوينات الصخرية لجبل المقطم ( انظر الفصل الثانى جيولوجية مدينة القاهرة ).

#### ب ــ التسجيل الفوتوغرافى للواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث والواجهات الرئيسية للمئذنة

تقع الواجهة الرئيسية للمسجد فى الجهة الشمالية الغربية وتنخفض عن منسوب الشوارع المحيطة بمقدار واحد متر حيث نهبط ٧ درجات سلم لنصل لمنسوب الواجهة وقد كانت الواجهة الرئيسية قديماً ومنســوب أرضيــة المسجد فى مستوى الشوارع المحيطة ولكن حدث ارتفاع فى مناسيب الشوارع المحيطة وبالتالى ظهر منسوب المسجد منخفضاً عن منسوب الشوارع ويتضح ذلك من خلال الصورة رقم (٣٢) وتوضح الصورة رقم (٣٣)

---

١ ) عبد الله كامل موسى : تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربى وحتى نهاية العصر المملوكى ، دراسة معماريـــة زخرفية مقارنة مع مآذن العالم الإسلامى، رسالة دكتوراه، قسم الآثار الإسلامية،كلية الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٤م، ص ٢٦٥

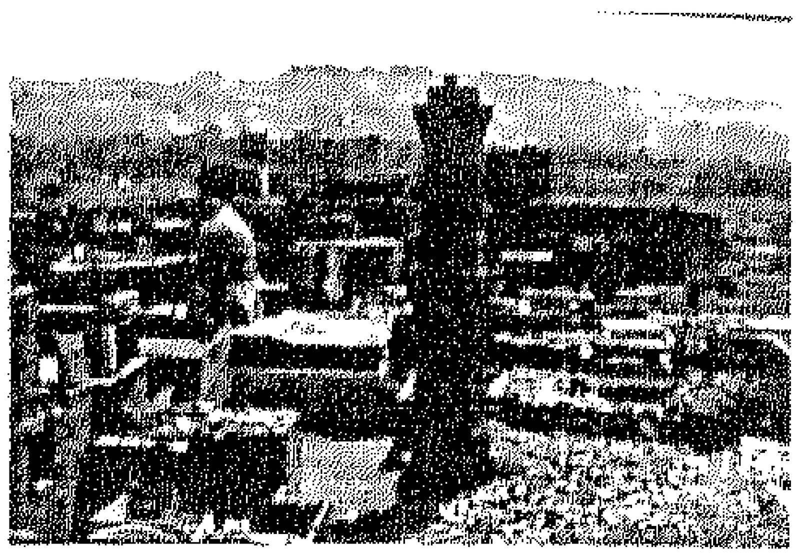
المدخل الرئيسى للمسجد وهو عبارة عن فتحه مستطيلة متوجه بعقد مدائنى ، كما تظهر المئذنة فى خلفية المسجد إلى اليسار من الصورة رقم (٣٢) وفى نهاية الجهة الجنوبية الغربية للمسجد ، أما عن الواجهات الرئيسية للمئذنة نفسها فتوضح الصورة رقم (٣٤) الواجهة الجنوبية الغربية للمئذنة ويظهر منها أن المئذنة مكونة من ثلاثة مستويات ، الأول مربع والثانى مثمن يعلوه المستوى الثالث المستدير وتعتبر المئذنة من المآذن الناقصة (فقدت الجزء العلوى منها) والذى يرجح أنه كان عبارة عن ثمانية أعمدة تحمل الجوسق حيث تنتمى المئذنة إلى الطراز المملوكى الجركسى (٨٨٣هـ / ١٤٧٩م) ، أما الواجهة الجنوبية الشرقية فتظهر فى الصورة رقم (٣٥) ونتبين منها وجود شرفة للمؤذن (لأداء الآذان) وهى توجد فى نهاية المستوى المثمن وبداية المستوى الدائرى وهى محاطة بسياج خشبى بسيط يأخذ الشكل المثمن ، الواجهة الشمالية الغربية والواجهة الشمالية الشرقية يظهران من خلال الصورة رقم (٣٦) ويظهر فيها جلياً مدى التآكل فى المداميك السفلية الحجرية فى الواجهة الشمالية الغربية ، أما الواجهة الشمالية الشرقية فتعتبر الواجهة الرئيسية للمئذنة وبها باب الدخول إلى المئذنة الذى يعلو الممر المقبى ( الساباط) وتظهر فيها أيضاً زخارف المستوى الثالث المستدير للمئذنة وهو عبارة عن زخارف هندسية قوامها الطبق النجمى ومنفذه بالحفر البارز .

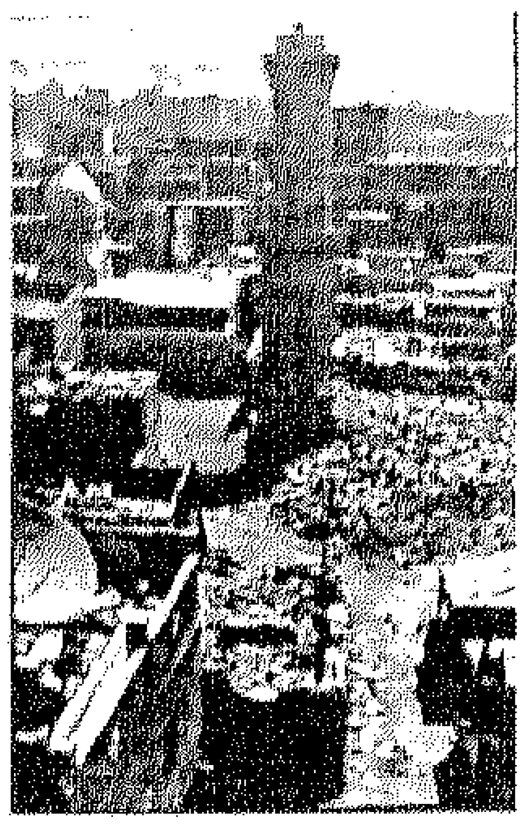
## جـ - التسجيل الفوتوغرافى لباب الدخول للمئذنة والباب المؤدى إليها من مسجد الأمام الليث

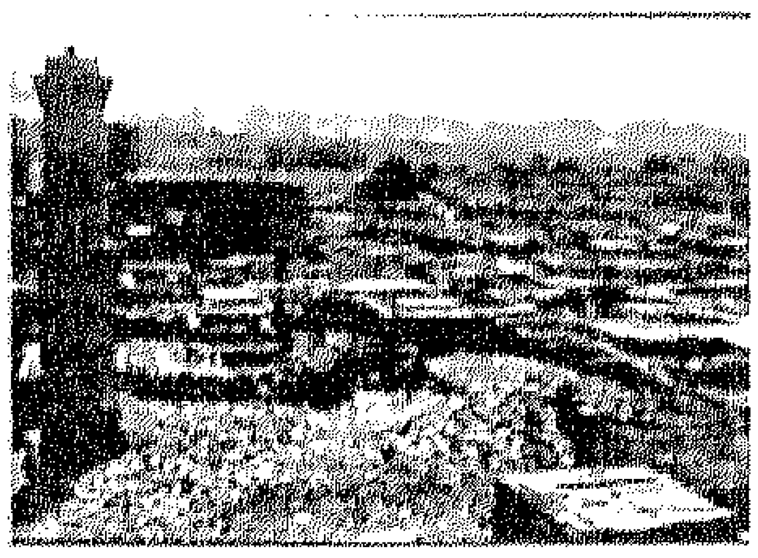
يوجد فى مسجد الأمام الليث باب فتحته مستطيلة ويعلوه عقد ذو ثلاثة فصوص (عقد مدائنى) فى الجهة الجنوبية الغربية كان يفتح على المساحة الخالية من الأرض والتى تقع فيها المئذنة حيث يتم من خلال هذا الباب صورة رقم (٣٧) الخروج من مسجد الإمام الليث للوصول إلى المئذنة والباب من الخشب ويتضح أن منسوبه منخفض عن منسوب الشارع وذلك بحوالى واحد متر نتيجة لارتفاع منسوب الشارع كما يوجد أمامه أكوام من الردم وكسر الأحجار والمهملات التى تكاد تحجبه عن النظر صورة رقم (٣٨) ، أما الباب الرئيسى للدخول للمئذنة فيقع فى الواجهة الرئيسية فى الجهة الشمالية الشرقية وهو مرتفع عن الأرض حيث يعلو الساباط ( الممر المقبى) ويلاصقه منزل صغير (عشوائى سقفه من الصفيح) ولابد من إزالته حيث يخفى جزءاً من المئذنة ويجاور هذا المنزل صورة رقم (٣٩) فى أقصى يسار الصورة أحد المدافن المغلقة بأبواب (أحواش) وتوضح الصورة رقم (٤٠) باب المدخل وهو يعلو الساباط ويكاد الساباط يختفى وراء بقايا من الأثاث الخشبى ومسكن عشوائى بسيط يحجب الساباط ويعمل على التشويه البصرى للمئذنة عند واجهتها الرئيسية ويعلو باب المئذنة كتابات زخرفية بينما يظهر أسفله فقدان فى كتل حجرية من أحجار الواجهة صورة رقم (٤١) ويرجع ذلك إلى تركيب قنطرة من الحديد تصل الصاعد إلى المئذنة من الأرض حتى باب الدخول إلى المئذنة ( غير موجودة الآن) كما يتضح وجود طبقات كثيفة من السناج بالساباط والعقد الذى يتوجه .

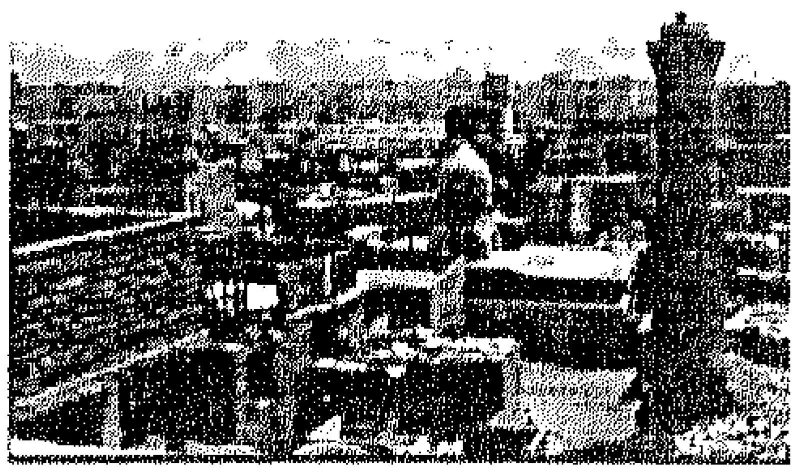
## د - التسجيل الفوتوغرافى لمظاهر التلف بالمئذنة .

توجد مظاهر تلف متنوعة بمئذنة يشبك من مهدى وبصفة عامة نجد أن الكتل الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى تعلوها طبقات من الأتربة والغبار والعوالق والتكلسات كما يوجد بعض التآكل نتيجة تأثير الرياح وتكثف الماء فى ظل وجود الغازات الملوثة مثل $SO_2$ فى البيئة المحيطة بالمئذنة وذلك بالنسبة للمداميك الحجرية العليا


صورة (٢٨)

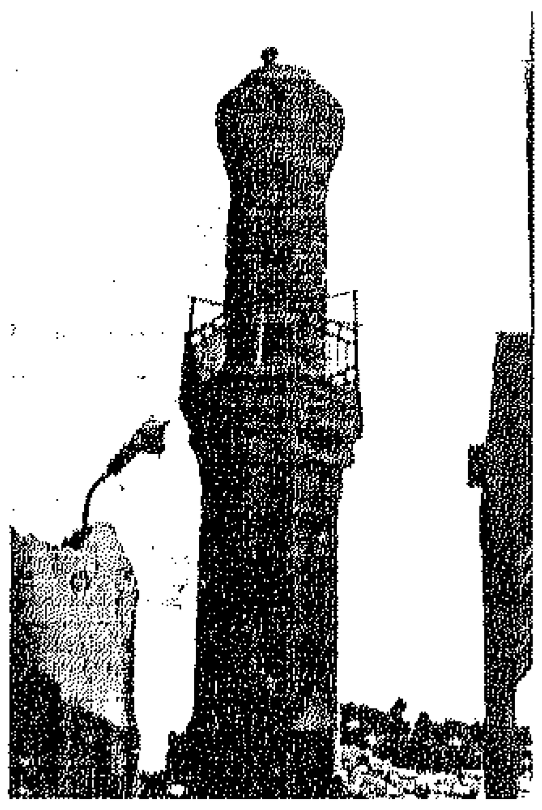

صورة (٢٩)

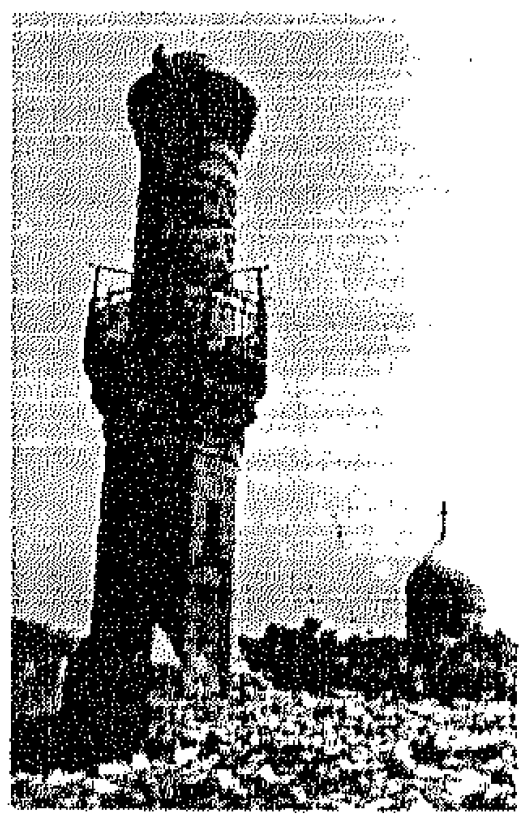

صورة (٣٠)

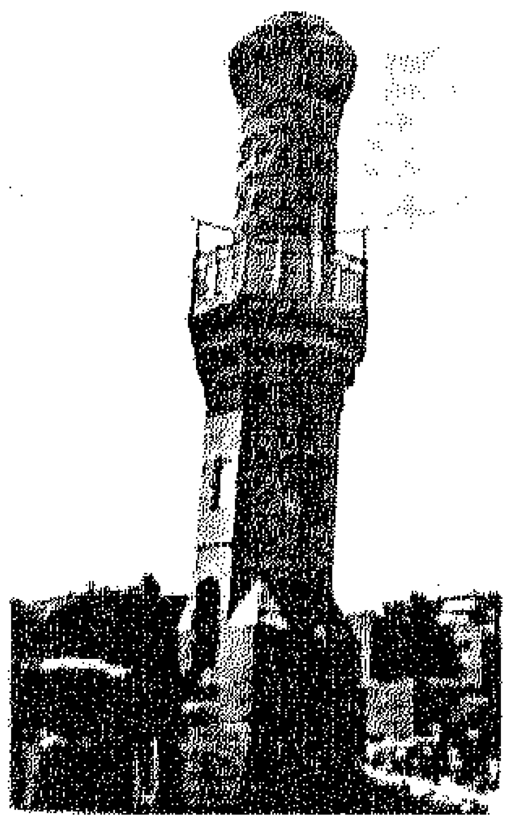

صورة (٣١)

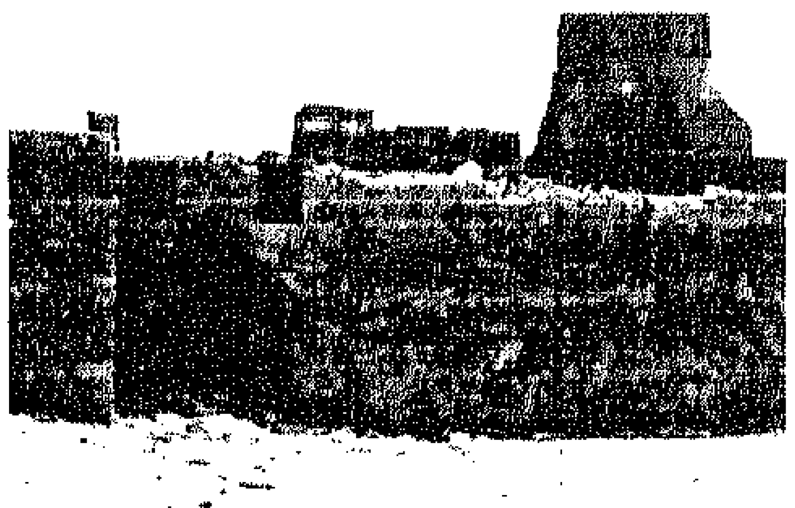
صورة (٣٢)

صورة (٣٣)

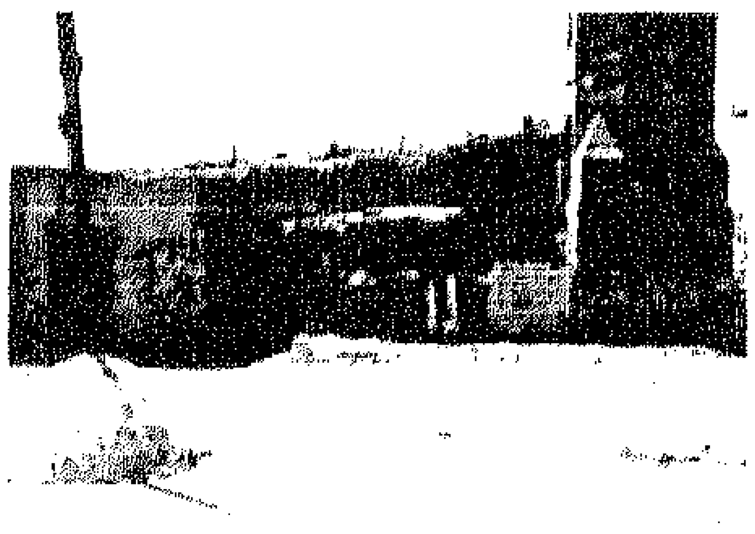

صورة (٣٤)


صورة (٣٥)


صورة (٣٦)


صورة (٣٧)

صورة (٣٨)


صورة (٣٩)

**الصور من رقم( ٢٨) إلي ( ٣٩) توضح التوثيق الفوتوغرافي لمئذنة يشبك من مهدي والوسط المحيط بهـا، وواجهاتها الرئيسية، والباب المؤدي إليها من مسجد الإمام الليث، وواجهة مسجد الإمام الليث.**

**(تصوير الباحث)**

للمئذنة وبكامل ارتفاعها أما المداميك السفلية خاصة فى المستوى الأول من المئذنة والمربع الشكل والذى يمثل قاعدة المئذنة ويوجد به الساباط ( الممر المقبى) فنجد مظاهر تلف متنوعة موجودة بشكل كبير ويتمثل ذلك فى التآكل والتدهور الشديد فى بعض كتل الأحجار المكونة للساباط فى منطقة العقد المتوج للساباط وهو عقد نصف دائرى ويظهر ذلك فى الصورة رقم (٤٢) وذلك فى الكتل جهة اليسار من العقد وذلك بسبب أحمال كتلة المئذنة وكذلك بسبب عدم وضع الكتل الحجرية التالفة على مرقدها الطبيعى بشكل صحيح مما أدى إلى حدوث تشقق وانفصال فى الطبقات المكونة للكتل الحجرية ويظهر كذلك بنفس الصورة أن الصنجة المفتاحية أو الصنجة الحجرية الوسطى فى العقد بها هبوط نتيجة أحمال كتلة المئذنة أيضاً إلى جانب ذلك توجد طبقات كثيفة من السناج الناتجة عن حرق القمامة التى تلقى بشكل عشوائى بجوار المئذنة ويظهر فى الصورة أيضاً كمية كبيرة من الردم والمخلفات والمهملات وكسر الأحجار والدبش والتى يجب إزالتها من داخل الساباط ، ونجد بالإضافة إلى ارتفاع منسوب التربة الحاملة للمئذنة بحيث أخفت جزءاً كبيراً من الساباط ومن قاعدة المئذنة نجد اكواماً من المهملات والقمامة المختلفة الأنواع واكوام الردم صورة رقم (٤٣) حيث يتم حرق هذه الأكوام من القمامة بجوار المئذنة بشكل عشوائى مما يؤدى لوجود طبقات من السناج على السطح الخارجى للمئذنة ولذلك لابد عند إجراء عمليات الترميم والصيانة إزالة هذه الاكوام من القمامة ونقلها إلى مقالب القمامة العمومية وعمل حرم للمئذنة يحيط بها ويعمل على حمايتها وصيانتها من التعديات والإشغالات الضارة ، كما نجد فواصل بين كتل الأحجار المكونة للمئذنة لفقدان طبقات المونة الموجودة بين المداميك فى العراميس وتلفها ووجود تشويه عن طريق كتابات من بويات الزيت الملونة صورة رقم (٤٤) ووجود طبقة من الأتربة والتكلسات ، إلى جانب ذلك نجد تآكل وفقدان فى الطبقات السطحية لكتل الأحجار السفلية بفعل تبلور الأملاح وكذلك وجود كتابات ملونة تشوه الشكل العام للمئذنة صورة رقم (٤٥) ، كما توجد فواصل بين مداميك الأحجار السفلية خاصة فى الواجهة الشمالية الغربية التى تقع يسار الواجهة الرئيسية للمئذنة التى تحتوى على باب الدخول إلى المئذنة وذلك بفعل تآكل وتلف حواف المداميك الحجرية وفقدان طبقات المونة الموجودة بين العراميس بفعل تبلور الأملاح بين مكوناتها وما تحدثه من إجهادات وضغوط تؤدى إلى تفتتها وهشاشيتها وبالتالى سقوطها وفقدانها صورة رقم (٤٦) كما نجد تجيير أبيض للأملاح المتزهرة على السطح إلى جانب وجود شروخ وشقوق نافذة فى بعض كتل الأحجار بفعل تبلور الأملاح التى تتبلور بداخل مكوناتها وتؤدى إلى حدوث انفصالات بين الطبقات المختلفة وبالتالى سقوطها وفقدانها واستمرار تآكل الأحجار وتحتاج هذه الطبقات إلى استخلاص الأملاح وإجراء عمليات التنظيف اللازمة ثم التقوية .

## هـ - التسجيل الفوتوغرافى للتفاصيل المعمارية وزخارف المئذنة .

تحفل المئذنة بالكثير من التفاصيل المعمارية والزخارف النباتية والكتابية والهندسية فنجد مثلاً أن البدن المثمن به وحدات من الزخارف النباتية الإسلامية المحورة عن الطبيعة وذلك على ضلع من الأضلاع الثمانية للبدن المثمن أما الأربعة أضلاع الأخرى نجد بها فتحات كما يحيط بهذا البدن من أسفل شريط من الزخارف الكتابية ومن أعلى شريط من الزخارف النباتية صورة رقم (٤٧) ، توجد على قاعدة الشرفة المثمنة الموجودة بالمئذنة من الخارج نقوش بارزة زخرفية قوامها الزخارف النباتية وهى من الزخارف النادرة والتى تميز طراز المئذنة صورة رقم (٤٨) ، نجد على أحد أضلاع البدن المثمن للمئذنة زخارف هندسية قوامها شكل الطبق النجمى ونلاحظ أنها غير مكتملة (ربما من الصانع نفسه) عند الطرف العلوى الأيمن صورة رقم (٤٩) وهى زخارف حجرية بارزة ، ونجد زخارف كتابية تشتمل على أسم منشئ المئذنة (يشبك من مهدى) وتاريخ

بداية الإنشاء (٨٨٣هـ) وذلك فى الجزء السفلى من البدن المثمن الذى يعلو باب الدخول للمئذنة ويظهر جزء منه فى الصورة رقم (٥٠) ، كما يتوج المستوى الثالث من بدن المئذنة زخارف حجرية بارزة بشكل ملحوظ مكونة من وحدات الطبق النجمى وتبرز حدود الطبق النجمى ( الحواف الخارجية) بشكل كبير بينما توجد بداخل وحدات الأطباق النجمية زخارف نباتية وهندسية اقل بروزاً من حواف الأطباق النجمية وهى فى غاية الروعة والجمال كما يتضح من الصورتين رقمى (٥١)،(٥٢) كما توجد فجوات تم عملها فى هذا المستوى الدائرى لتثبيت سدايب رفيعة من الأخشاب خاصة بالسياج الخشبى لشرفه المئذنة صورة رقم (٥٣) .

## ٢) التسجيل والتوثيق المعمارى

قام المجلس الأعلى الآثار بتكليف إحدى الجهات المتخصصة *بعمل رفع مساحى ومعمارى لمسجد الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى وذلك خلال عام ٢٠٠٢ م حيث تم ذلك كما يلى .

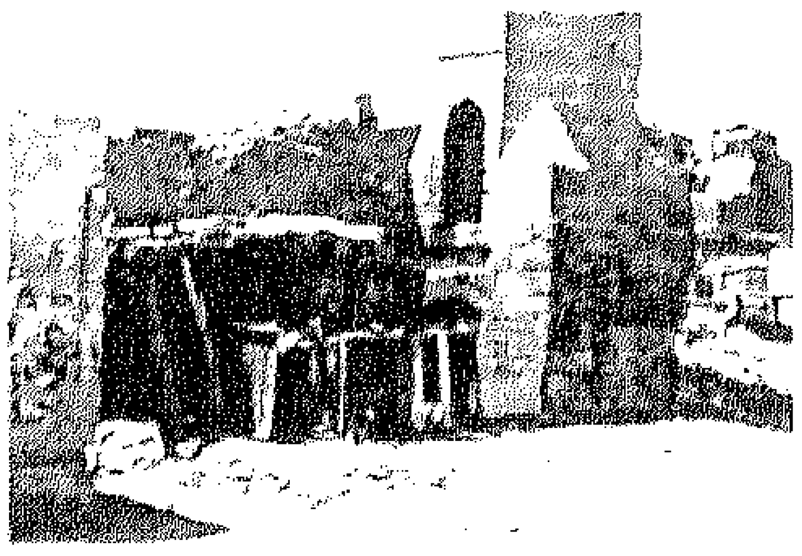
### ربط الإحداثيات بالخرائط المساحية

تم إنشاء عدد ٢ روبير محلى (BMI) منسوبة (20.31) موضوع على قاعدة خرسانية بغرفة الكهرباء شمال شرق المسجد ، روبير (BM2) منسوبة (21.16) ويوجد على الجدار شمال غرب المسجد كما هو موضح بالشكل رقم (٢٩) وتم ربط هذين الروبيرين بالروبير المساحى الموضح فى خرائط مصلحة المساحة رقم(١٧٠) ويوجد فى الحائط الحجرى شرق المدخل الرئيسى للمسجد على مسافة ١,١متر وغرب الزاوية البحرية الشرقية بمسافة ٦,٦٥ متر ويرتفع عن سطح الأرض بمقدار ١,٤ متر ومنسوبة العام هو (٣١,٢٣٥ متر) فوق سطح البحر وتم توقيع الإحداثيات الكارتيزية لهذا الروبير منسوبة إلى الإحداثيات العامة لخرائط الدولة وذلك فى خرائط الرفع المساحى التى تم عملها ، ومن أهم الخرائط المساحية التى تم عملها خريطة مساحية توضح موقع مسجد الإمام الليث فى منطقة الإمام الليث بحى عين الصيرة ، وتوضح موقع المئذنة من مسجد الإمام الليث حيث أنها مستقلة ومنفصلة عنه ويتضح ذلك من خلال اللوحة رقم (٥١) كما تم عمل الرفع المعمارى لتوضيح المسقط الأفقى للمئذنة وموقعة من المسقط الأفقى لمسجد الإمام الليث لوحه رقم(٥٢)، كما تم عمل الرفع المعمارى للواجهات الأربعة لمئذنة يشبك من مهدى بكامل تفاصيلها المعمارية وزخارفها وهى من المآذن الناقصة ( فقدت الجوسق من قمتها) وذلك فى تاريخ غير محدد كما تم عمل أربعة قطاعات عرضية فى المستويات المختلفة من المئذنة لتوضيح سمك كل مستوى من مستويات المئذنة لوحة رقم (٥٣) ، ونظراً لوجود بعض الزخارف على السطح الخارجى لبدن المئذنة فقد تم رفع هذه الزخارف وتم تسجيلها وتوثيقها فى اللوحة رقم (٥٤) ، وخلال عمليات الرفع المساحى والمعمارى للمئذنة تم رفع المئذنة بواجهاتها الأربعة لتوضيح الاتزان الإنشائى للمئذنة وتوضيح مقدار الميل بالمئذنة واتجاهه ويتضح ذلك من خلال اللوحة رقم (٥٥) .

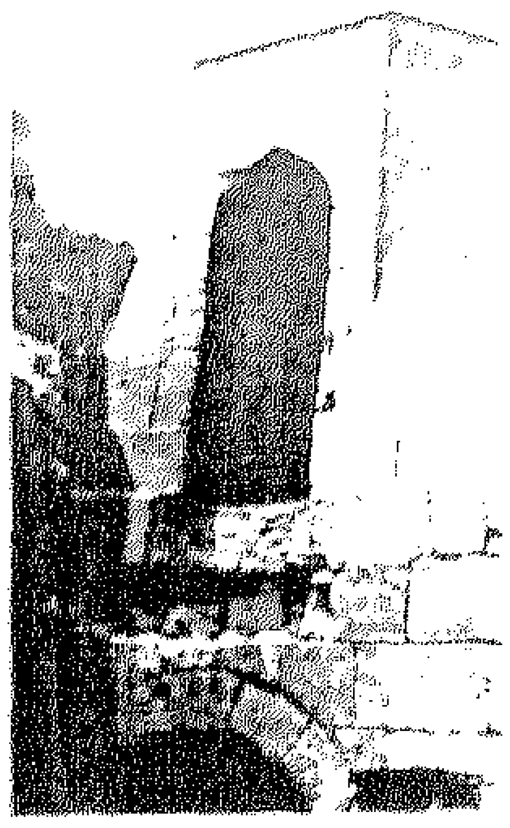
## ٣) التسجيل والتوثيق المعمارى لمظاهر التلف (الوضع الراهن للمئذنة)

تم توضيح مظاهر التلف المختلفة بالمئذنة وتسجيلها وتوثيقها وذلك على الواجهات الأربعة للمئذنة ومظاهر تلف المئذنة متنوعة ويمكن حصرها فيما يلى .

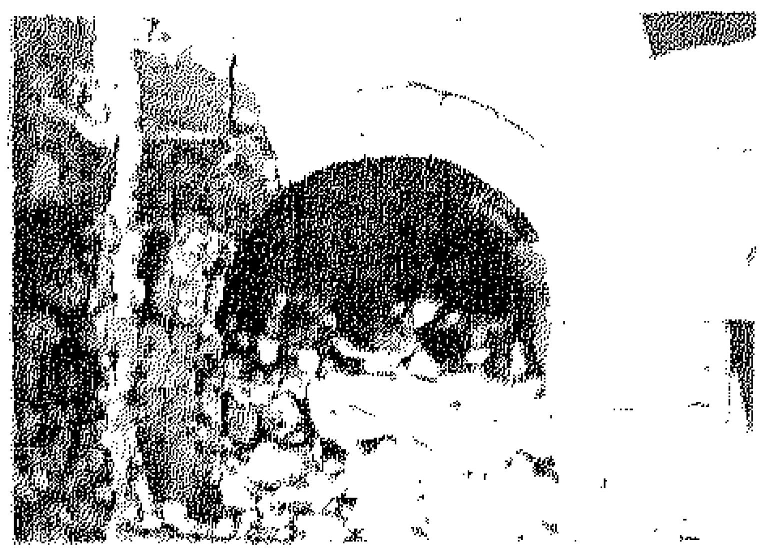
* قدمت هذه الدراسة إلى قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار من الجهة المنفذة عام ٢٠٠٢ م



صورة (٤٠)



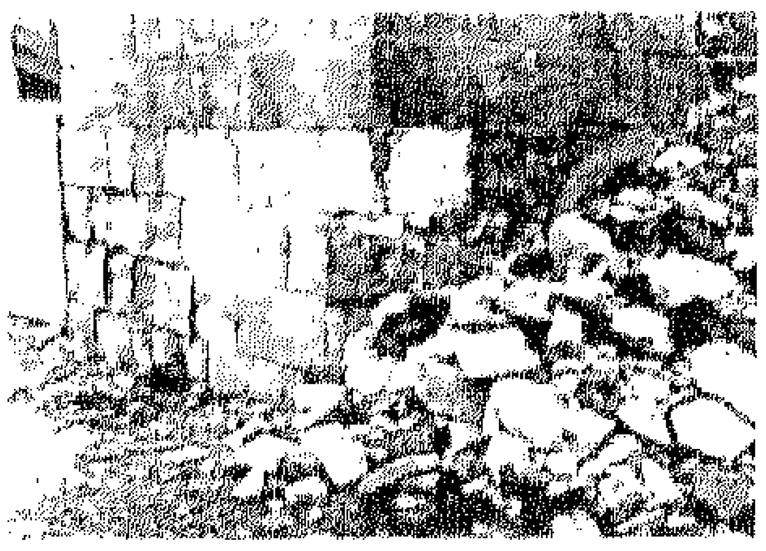
صورة (٤١)



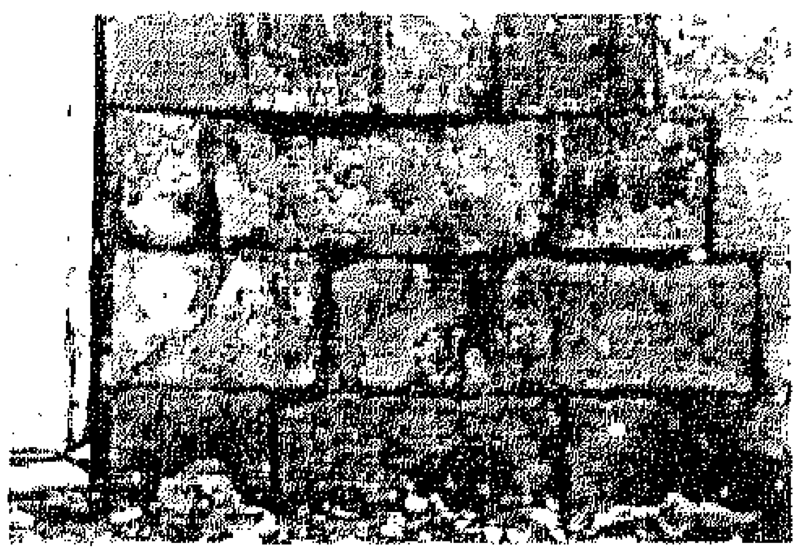
صورة (٤٢)

صورة (٤٣)

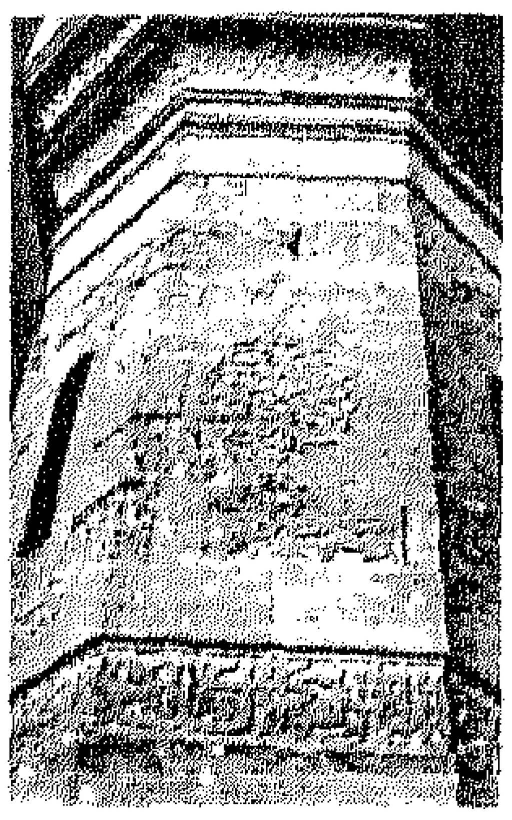
صورة (٤٤)



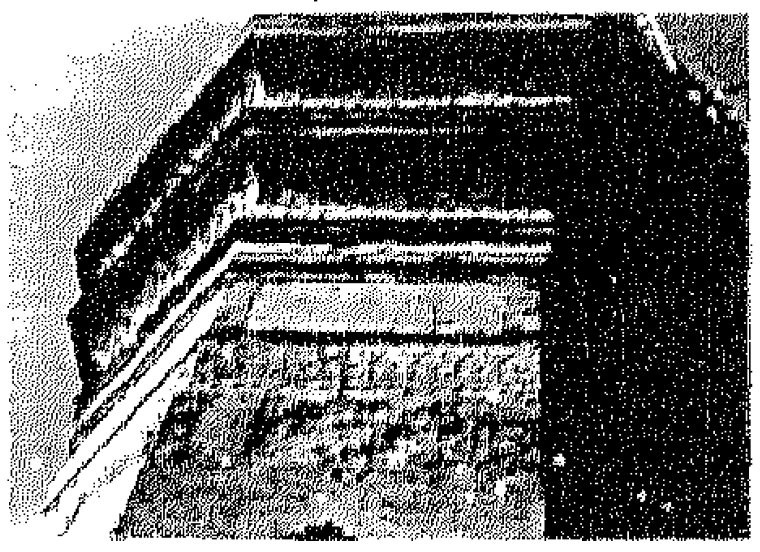
صورة (٤٥)



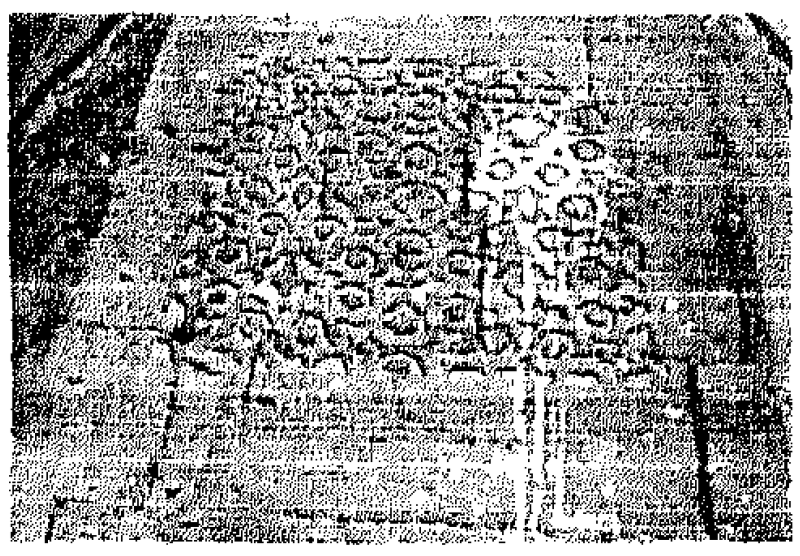
صورة (٤٦)



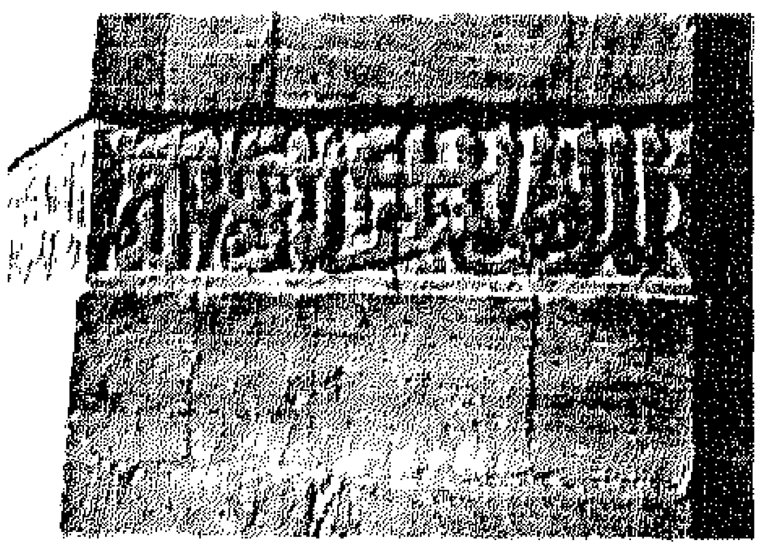
صورة (٤٧)



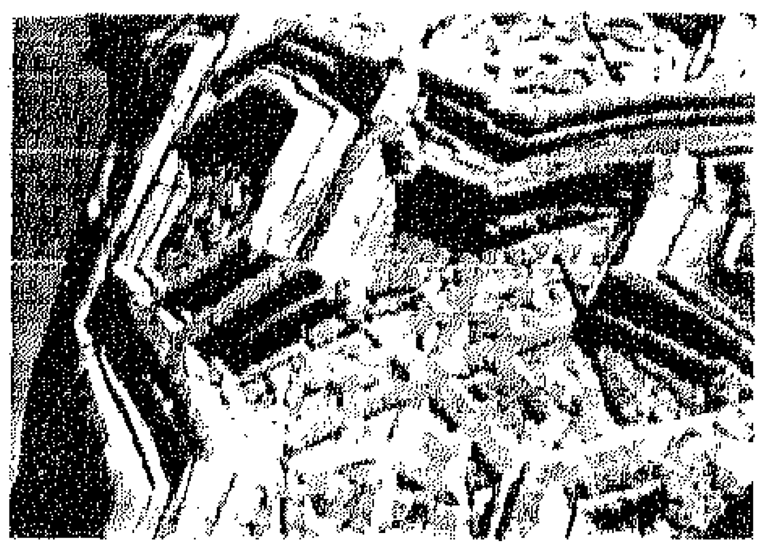
صورة (٤٨)



صورة (٤٩)



صورة (٥٠)

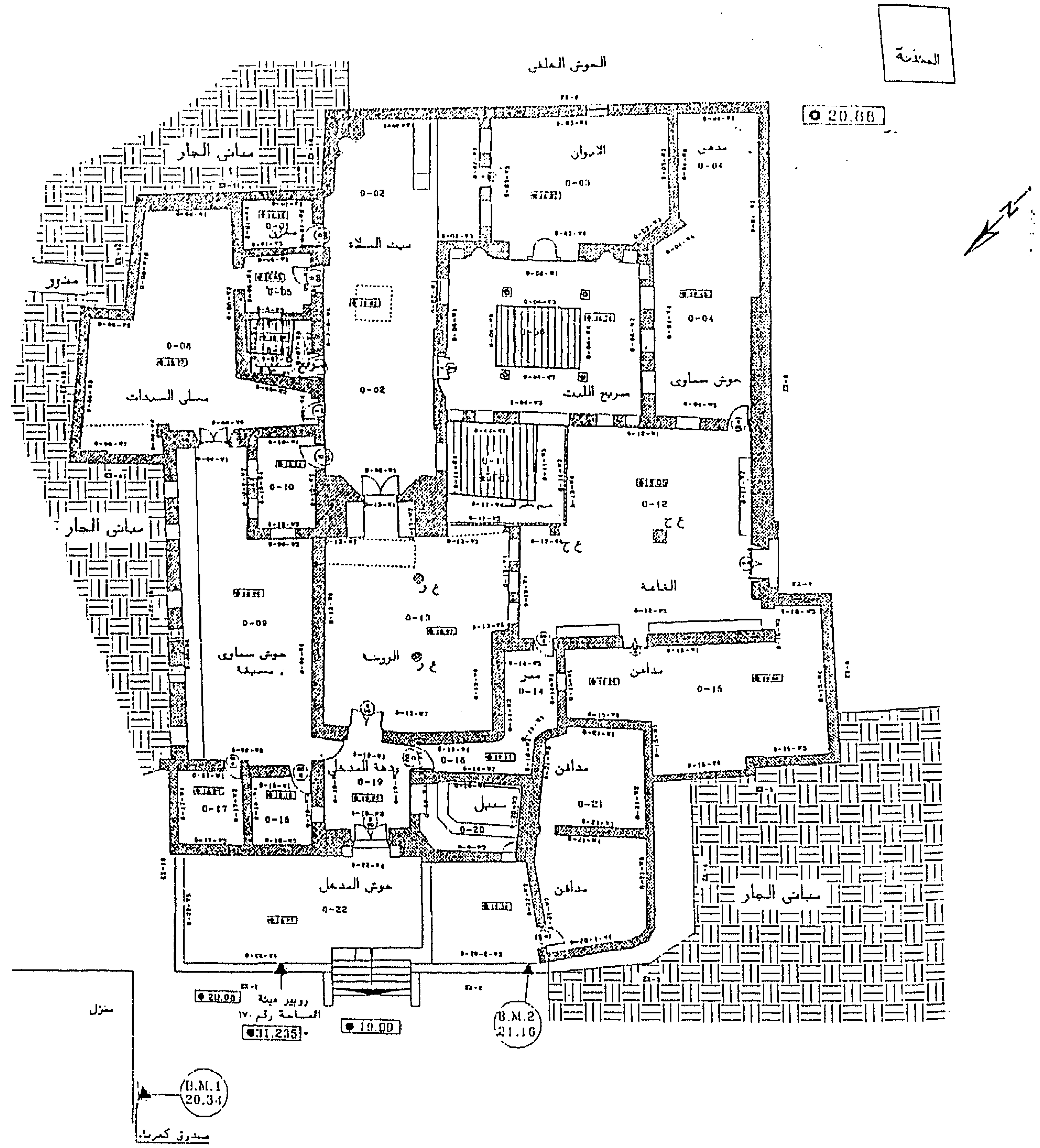


صورة (٥١)

الصور من رقم( ٤٠ ) إلي ( ٤٦ ) توضح باب المئذنة والممر أسفلها ومظاهر تدهورها وتلفها.

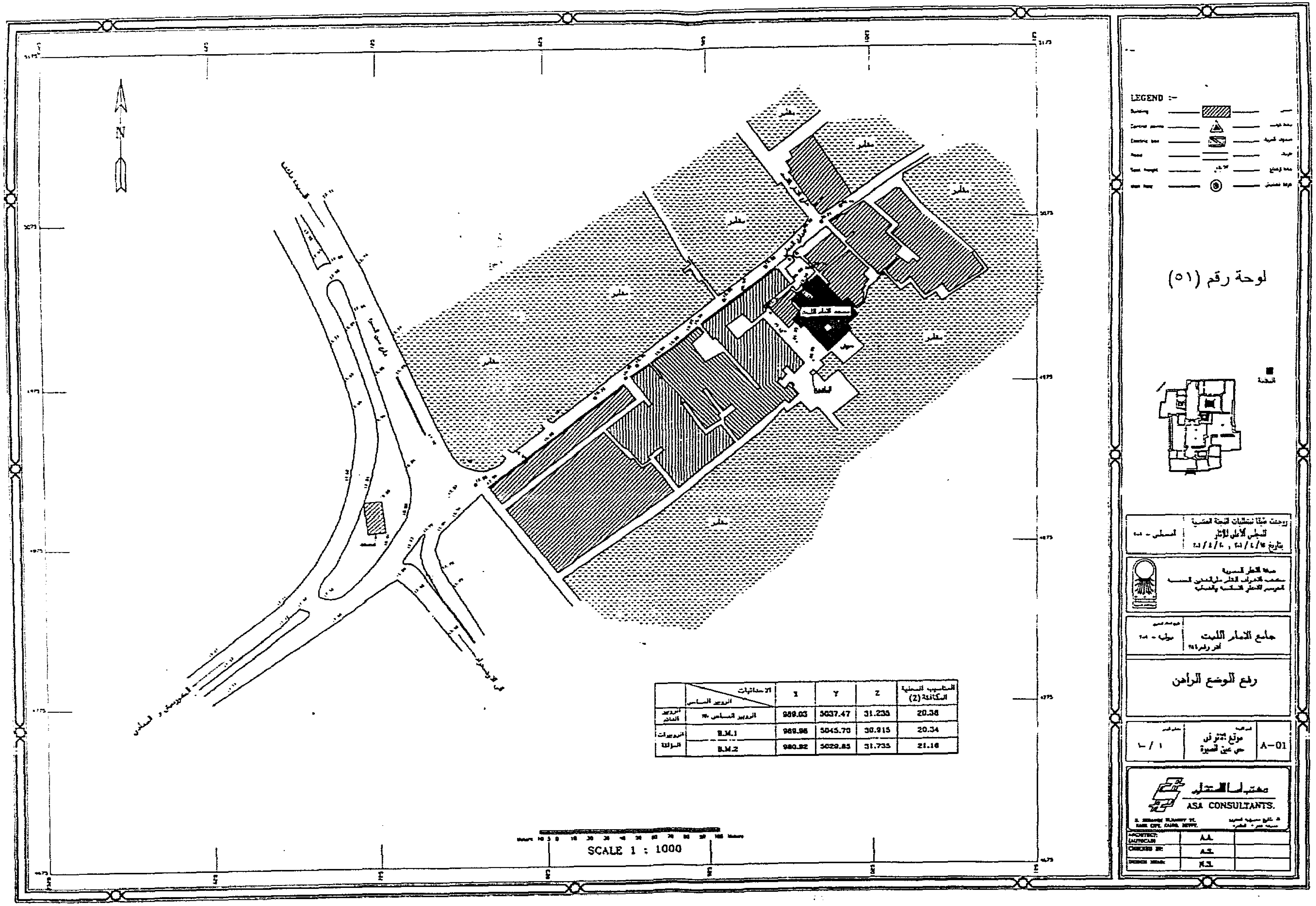
الصور من رقم( ٤٧ ) إلي ( ٥١ ) توضح التوثيق الفوتوغرافي لزخارف المئذنة .

(تصوير الباحث)

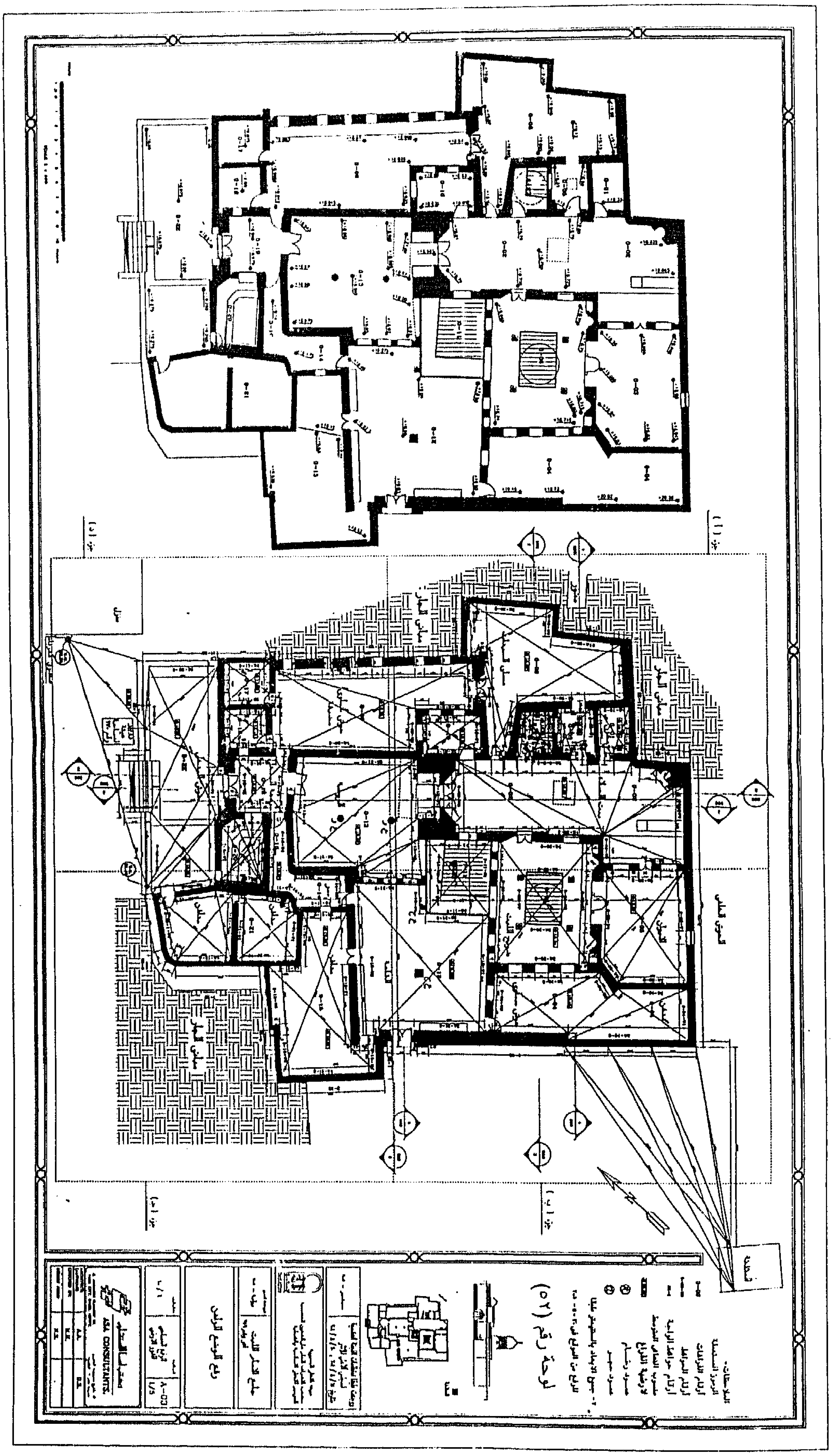


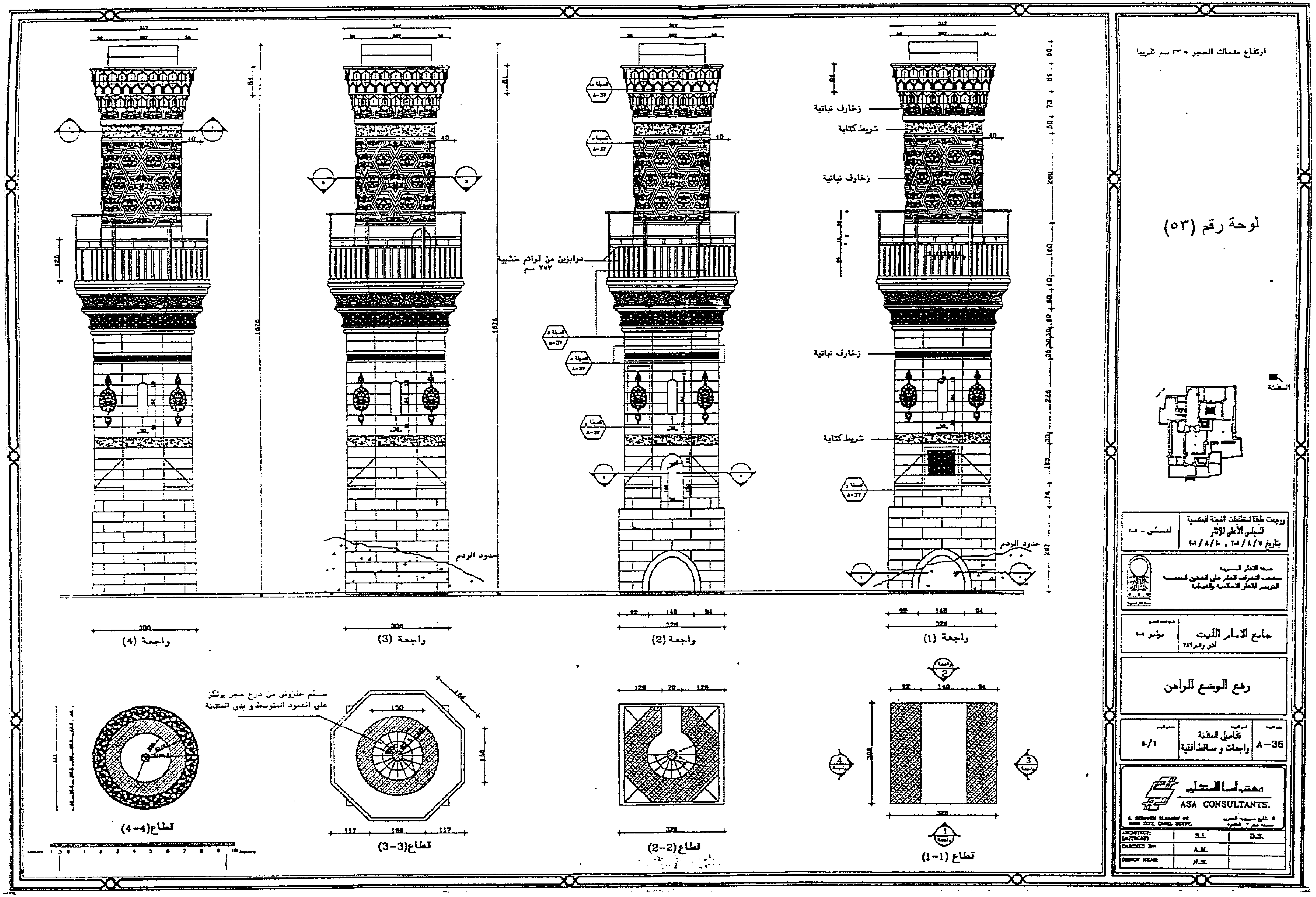

شكل رقم (٢٩) يوضح موقع الروبيرات المساحية بموقع مئذنة يشبك من مهدى

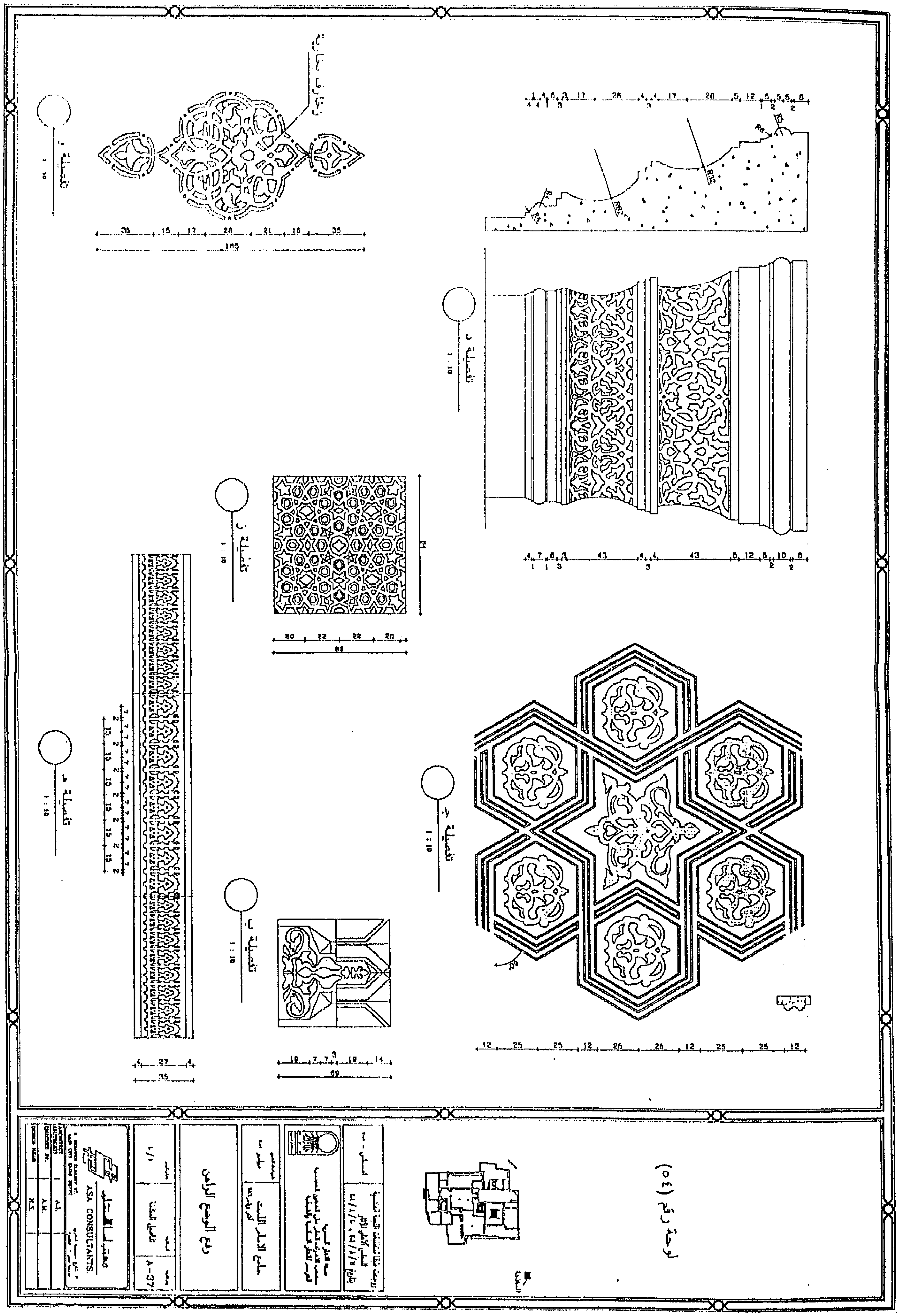
(عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار )

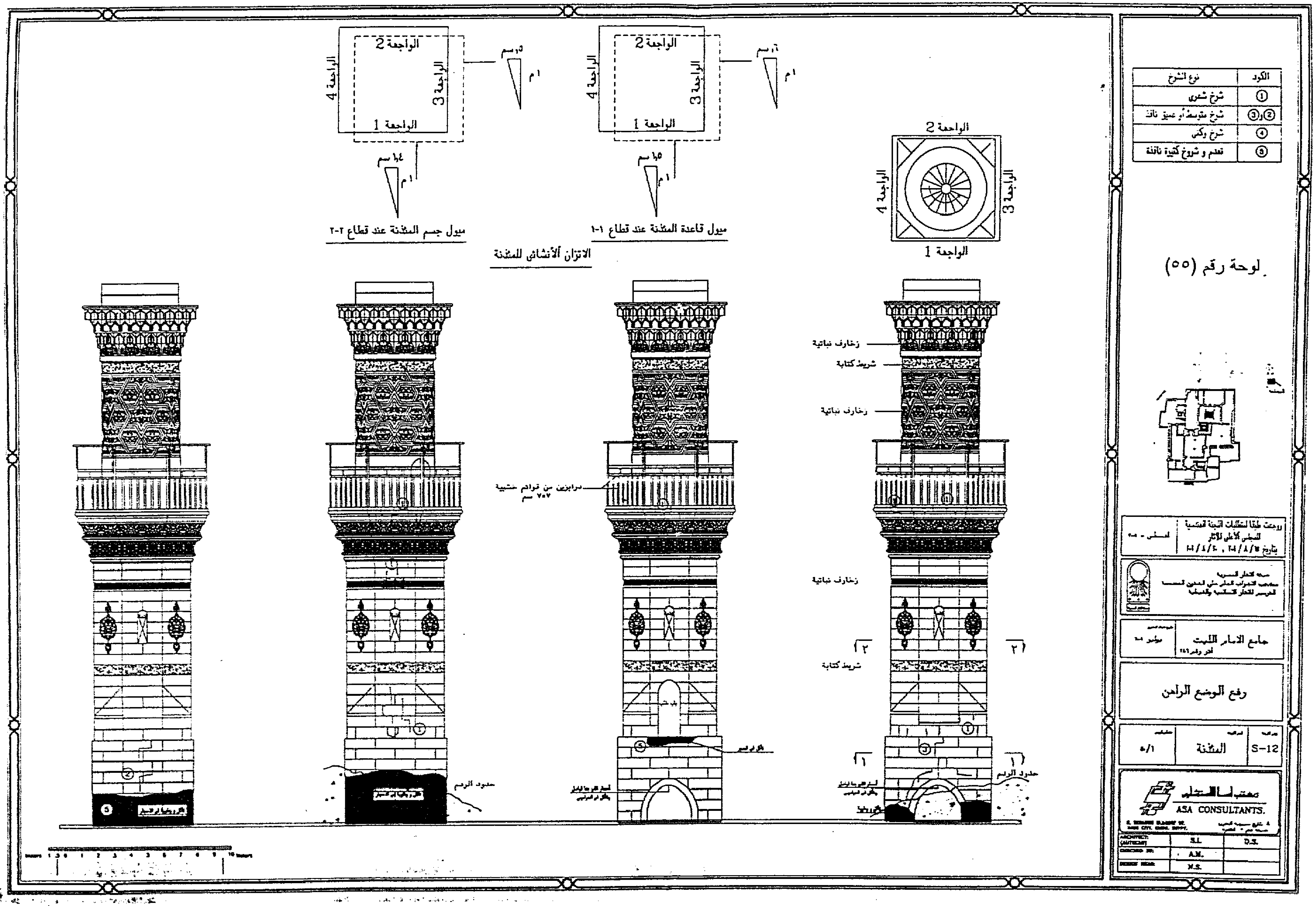



| | الاحداثيات / الروبير الاساسي | X | Y | Z | المناسيب المحلية المكافئة (2) |
|---|---|---|---|---|---|
| الروبير العام | الروبير الاساسي | 969.03 | 5037.47 | 31.235 | 20.38 |
| الروبيرات الزائلة | B.M.1 | 969.96 | 5045.70 | 30.915 | 20.34 |
| | B.M.2 | 980.92 | 5029.85 | 31.735 | 21.16 |


لوحة رقم (٥٢)
ALA CONSULTANTS


ارتفاع مدماك الحجر ٣٠ سم تقريباً
لوحة رقم (٥٣)
زخارف نباتية
شريط كتابة
زخارف نباتية
زخارف نباتية
شريط كتابة
حدود الردم
درابزين من قوائم خشبية
حدود الردم
واجهة (1)
واجهة (2)
واجهة (3)
واجهة (4)
سلم حلزوني من درج حجر يرتكز على العمود المتوسط و بدن المئذنة
قطاع (1-1)
قطاع (2-2)
قطاع (3-3)
قطاع (4-4)
جامع الأمير الليث
رفع الوضع الراهن
تفاصيل المئذنة
واجهات و مساقط أفقية
A-36
ASA CONSULTANTS.


لوحة رقم (٥٤)
ASA CONSULTANTS.
A-37
1 : 10


لوحة رقم (٥٥)
الكود
نوع الشرخ
شرخ شعري
شرخ متوسط أو عميق نافذ
شرخ ركني
تهدم و شروخ كثيرة نافذة
الاتزان الانشائي للمئذنة
ميول قاعدة المئذنة عند قطاع ١-١
ميول جسم المئذنة عند قطاع ٢-٢
الواجهة 1
الواجهة 2
الواجهة 3
الواجهة 4
زخارف نباتية
شريط كتابة
درابزين من قوائم خشبية
حدود الردم
جامع الامام الليث
رفع الوضع الراهن
المئذنة
S-12
ASA CONSULTANTS.

- فقدان الجزء العلوى من المئذنة ( قمة المئذنة) ويرجح طبقا للطراز المملوكى الجركسى للمئذنة أنها كانت عبارة عن ثمانية أعمدة تحمل جوسق ينتهى من أعلى بهلال ويعرف هذا النوع من المآذن التى تفقد قمتها بالمآذن المقصوفة .
- تآكل وتفتت فى الطبقات السطحية بالكتل الحجرية وخاصة فى المداميك السفلية .
- وجود فواصل بين المداميك بسبب فقدان المونة من العراميس بفعل تبلور الأملاح بين مكوناتها مما أدى إلى هشاشيتها وسقوطها .
- وجود طبقات كثيفة من السناج بفعل حرق أكوام القمامة والمهملات بجوار المئذنة وخاصة فى منطقة قاعدة المئذنة وبداخل الساباط ( الممر المقبى) فى الجزء السفلى من المئذنة .
- وجود طبقات وأكوام كبيرة من القمامة تحيط بالمئذنة حيث تعتبر من التعديات على حرم المئذنة وتشوه مظهرها العام وتخفى جزء من الساباط الموجود بقاعدة المئذنة مما يدل على ارتفاع منسوب الشارع المحيط بالمئذنة عن المنسوب الطبيعى .
- وجود تآكل وفقدان بشكل جزئى فى الزخارف الحجرية المنفذة بالنحت البارز على السطح الخارجى لبدن المئذنة سواء الزخارف الكتابية أو النباتية أو الهندسية بفعل الرياح والتكثف والتلوث الجوى الذى أدى لذوبان بعض مكونات الأحجار .
- وجود فواصل وشروخ فى بعض أحجار العقد المتوج للساباط بقاعدة المئذنة وتآكل أجزاء كبيرة منها حيث أن بعضها لم يوضع على مرقدة الطبيعى فى البناء ولذلك تعرض للتشقق بفعل الأحمال الواقعة عليه من المئذنة .
- وجود طبقات تجبير بيضاء بفعل الأملاح المتزهرة على السطح وخاصة من المداميك السفلية بقاعدة المئذنة وهى تبدو واضحة من خلال التوثيق الفوتوغرافى ومن خلال الرفع المعمارى أيضا .
- كانت هذه هى أهم مظاهر التلف الموجودة بالمئذنة إلى جانب ارتفاع منسوب التربة المقام عليها المئذنة وارتفاع منسوب الشوارع المحيطة مما أدى إلى اختفاء جزء من قاعدة المئذنة داخل طبقات الردم والتى تحتاج إلى إزالة على الأقل فى المنطقة المحيطة والملاصقة للمئذنة حتى الوصول إلى قاعدة المئذنة وإظهار الممر المقبى (الساباط) الموجود أسفل المئذنة بشكل كامل ، وتوضح اللوحة رقم (٥٦) مظاهر التلف المختلفة بالمئذنة .

## ثالثا : الرصد المساحى لمئذنة يشبك من مهدى

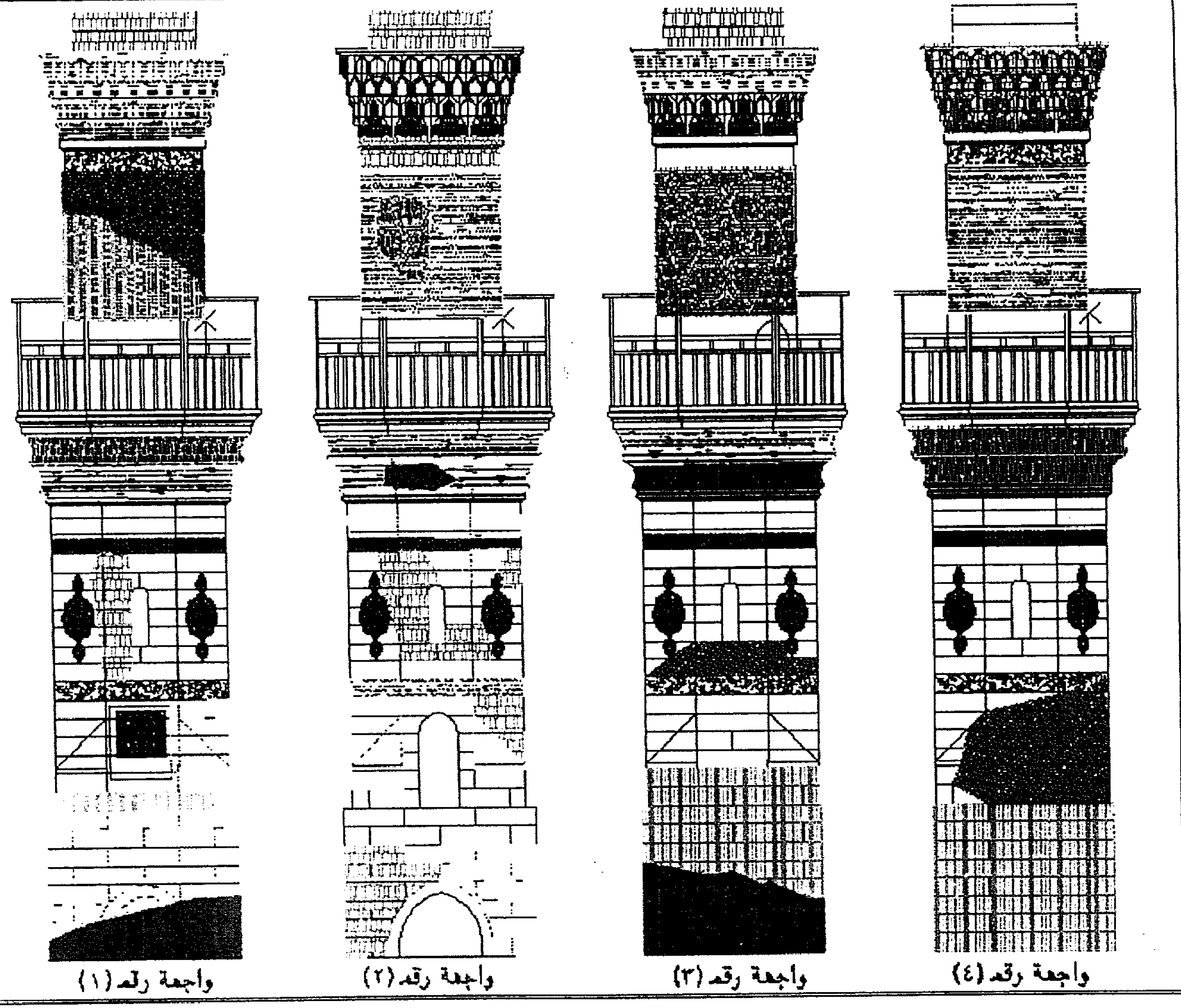
تعتبر عملية الرصد المساحى من أهم العمليات التى يتعين إجرائها للتعرف على الوضع الراهن للمئذنة من حيث إتزانها وثباتها لأهمية ذلك فى إعداد خطة العلاج والترميم والصيانة للمئذنة لذلك قام الباحث بإجراء عملية رصد مساحى لمئذنة يشبك من مهدى باستخدام أحدث أجهزة الرصد المساحى وهو جهاز محطة الرصد المتكاملة Total Station * لتحديد مدى إتزان وثبات المئذنة ومقدار ميل المئذنة واتجاه هذا الميل وتم ذلك كما يلى:-

### ١) الأجهزة المستخدمة

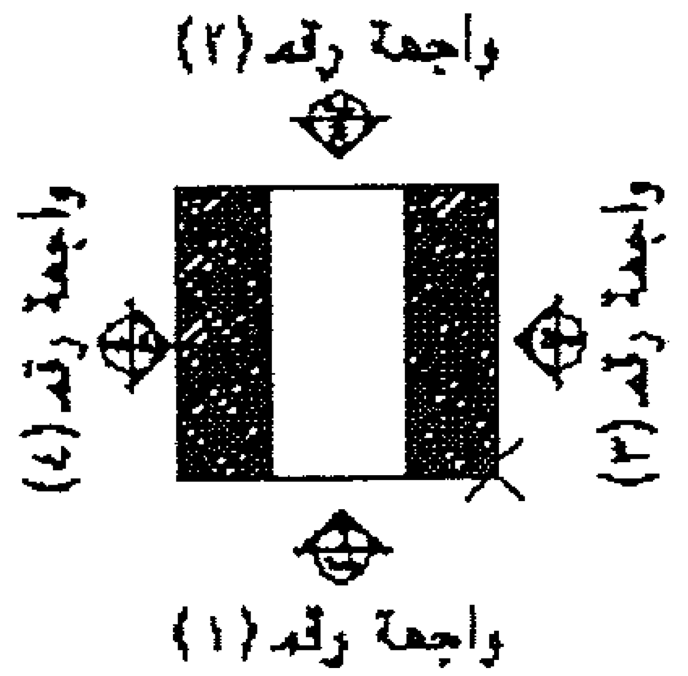
أ- محطة رصد متكاملة Total Station ماركة سوكيا Sokkia درجة دقتها (١) ثانية فى قياس الزوايا و(٣) ppm فى قياس المسافات .

---

* تم إجراء هذه الدراسة بواسطة الباحث خلال عام ٢٠٠٢ م




EROSION تآكل
EXFOLIATION تقشر الطبقة السطحية الرقيقة
BLISTERING تقرح
SALTS AND MOISTURE أملاح و رطوبة
FILLING ردم




توثيق الوضع الراهن ومظاهر تلف مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الامام الليث

اثر رقم ٢٨٦ لوحة رقم (٥٦)

عمل الباحث

ب- مجموعة من العواكس الثابتة .

جـ - مجموعة من العواكس الورقية .

## ٢) طريقة الرصد

- تم تحديد نقطتين افتراضيتين B, A وتم رصد ميل المئذنة من هاتين النقطيتين الثابتتين وتم ربط إحداثيات هاتان النقطتان بحيث تكون الزوايا والمسافات بينهما وبين المئذنة متساوية من حيث البعد والزوايا بينهما فى حدود (٦٠° - ١٢٠°) لإعطاء افضل زوايا ممكنة لرؤية المئذنة للحصول على نتائج دقيقة كما تم ربط إحداثيات هاتان النقطتان بنظام الإحداثيات المستخدمة فى الرفع المساحى للموقع العام X.Y.Z ويتضح ذلك من خلال اللوحة رقم (٥٧) .

- تم تقسيم المئذنة إلى جزئين هما الجزء الأول وهو المستوى الثمانى للمئذنة والذى يعلو قاعدتها وتم تسميته (Part 1) والجزء الثانى هو الجزء الإسطوانى الذى يعلو المستوى المثمن وتم تسميته(Part 2) وقد تم التقسيم بهذا الشكل لكى يتسنى لنا تحديد العلاقات المختلفة بين المستويات الثلاثة للمئذنة وهى المستوى الأول الممثل لقاعدة المئذنة والمستوى الثانى المثمن والذى يعلوه المستوى الثالث الإسطوانى للمئذنة ويتضح ذلك من خلال اللوحة رقم (٥٨) .
- تم كذلك عمل قطاعات لكل عرضية لكل من القاعدة والجزء الأول (Part 1) والجزء الأول والجزء الثانى (Part 2) وذلك لتحديد الإزاحة بين القاعدة المربعة والجزء الأول الثمانى وكذلك الإزاحة بين الجزء الإسطوانى (Part 2) والجزء المثمن (Part 1) وتوجد هذه الإزاحات غالباً نتيجة الهبوط غير المنتظم للتربة أو الحركة الديناميكية للزلازل وفى بعض الأحيان نتيجة الارتفاع الكبير للمآذن وصغر محيطاتها بالنسبة للارتفاع نجد أنه قد تحدث بعض الميول فى بدن المئذنة نتيجة الأخطاء البشرية أثناء عمليات بناء المآذن الأثرية كما قد نجد إزاحة فى اتجاه ما و بمقدار معين لأحد المستويات عن المستوى الذى يوجد بأسفله أى لا ينطبق مركز الثقل لهذا المستوىCenter Of Gravity [CG] على مركز ثقل المستوى الموجود أسفله وتتضح هذه القطاعات العرضية للمئذنة التى تم عملها للربط بين المستويات الثلاثة للمئذنة وعلاقتها ببعضها البعض من خلال اللوحة رقم (٥٩).

## ٣) تحليل الأرصاد

### أولاً : الإزاحة

أ- بتحليل الأرصاد وجد أن الجزء الثمانى (Part 1) به إزاحة عن قاعدة المئذنة المربعة الشكل بمقدار ٣,٥ سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى وكذلك إزاحة مقدارها ٢,١ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى .

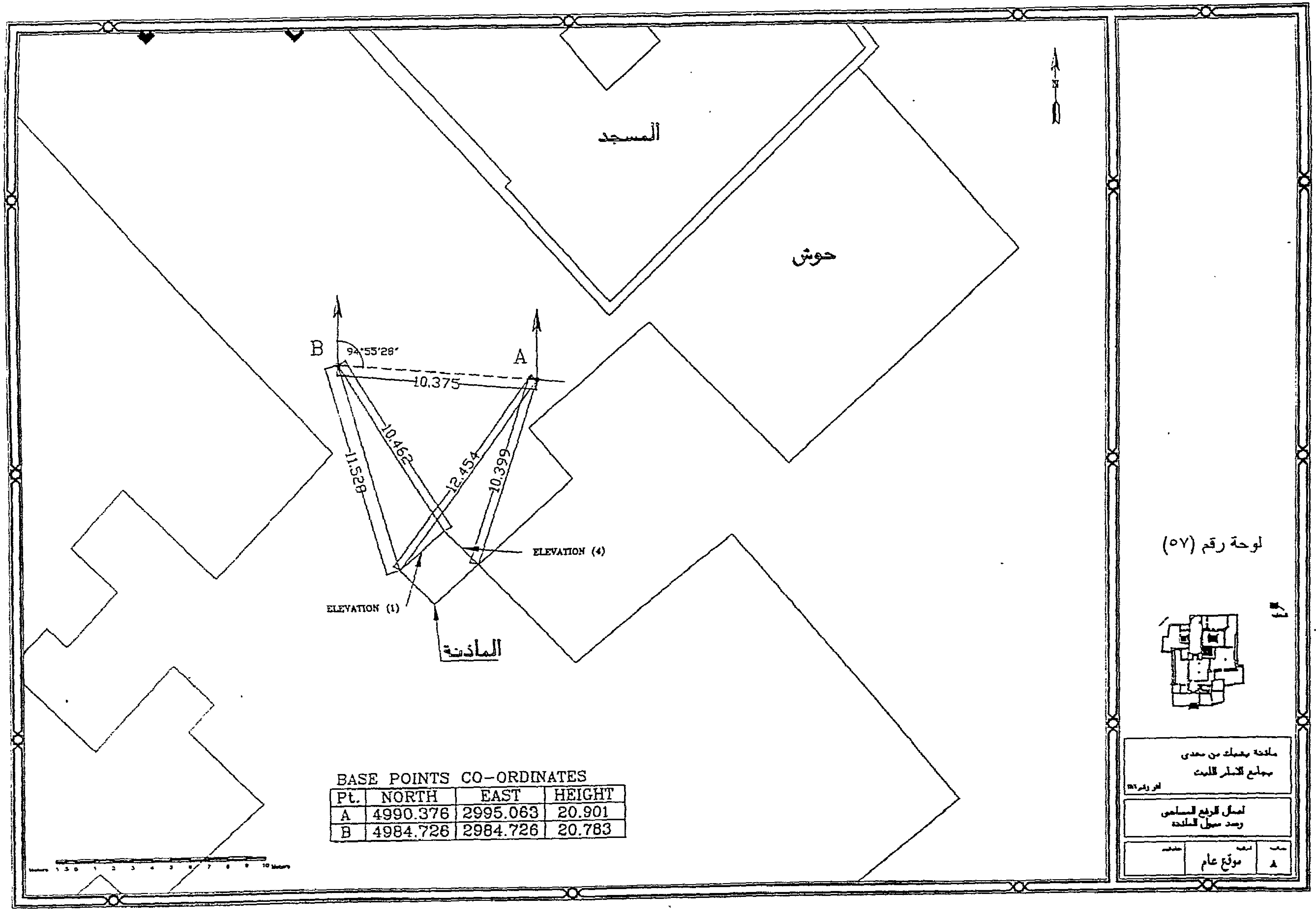
ونجد أن محصلة هذه الإزاحات تبلغ ٤,١ سم فى الاتجاه الشمالى .

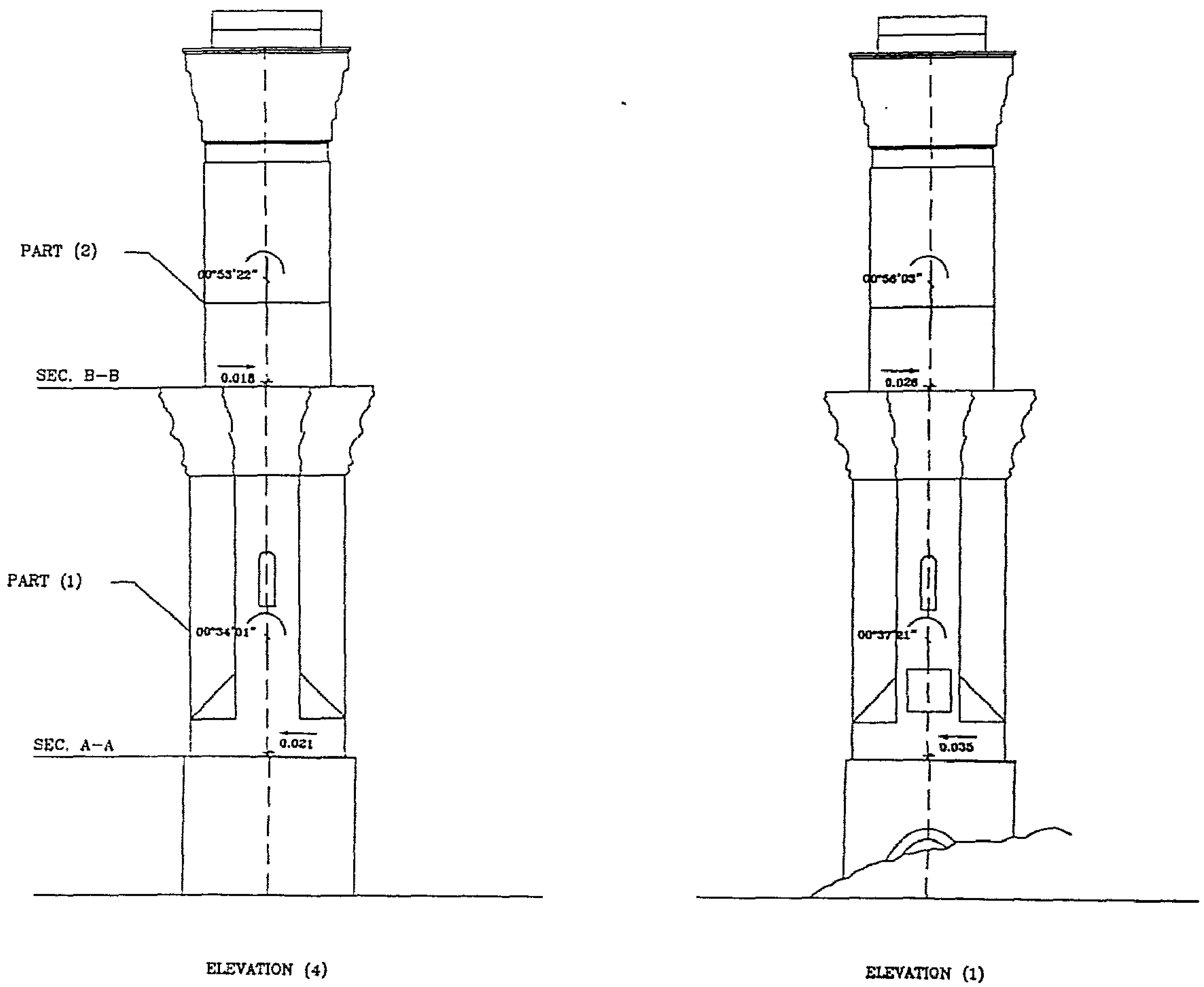
ب- بتحليل الأرصاد وجد أن الجزء الإسطوانى (Part 2) به إزاحة عن الجزء الثمانى للمئذنة (Part1) بمقدار ٢,٦سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى .

وكذلك إزاحة مقدارها ١,٨ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى وتبلغ محصلة هذه الإزاحات ٣,٢ سم فى الاتجاه الشمالى .

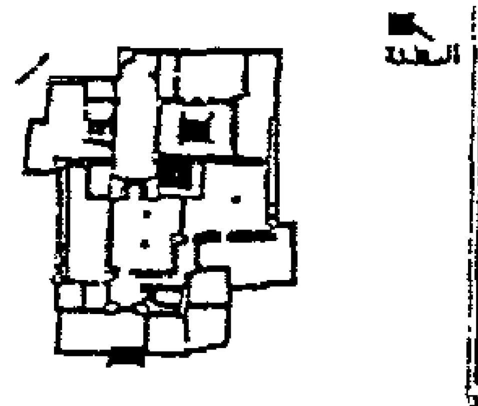
### ثانياً : الميول

أ- وجد أن الجزء الثانى ألثمانى الشكل للمئذنة ( Part 1) يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها


المسجد
حوش
B
A
94°55'28"
10.375
10.462
11.528
12.454
10.399
ELEVATION (1)
ELEVATION (4)
المأذنة
BASE POINTS CO-ORDINATES
Pt. NORTH EAST HEIGHT
A 4990.376 2995.063 20.901
B 4984.726 2984.726 20.783
لوحة رقم (٥٧)
موقع عام




لوحة رقم (٥٨)

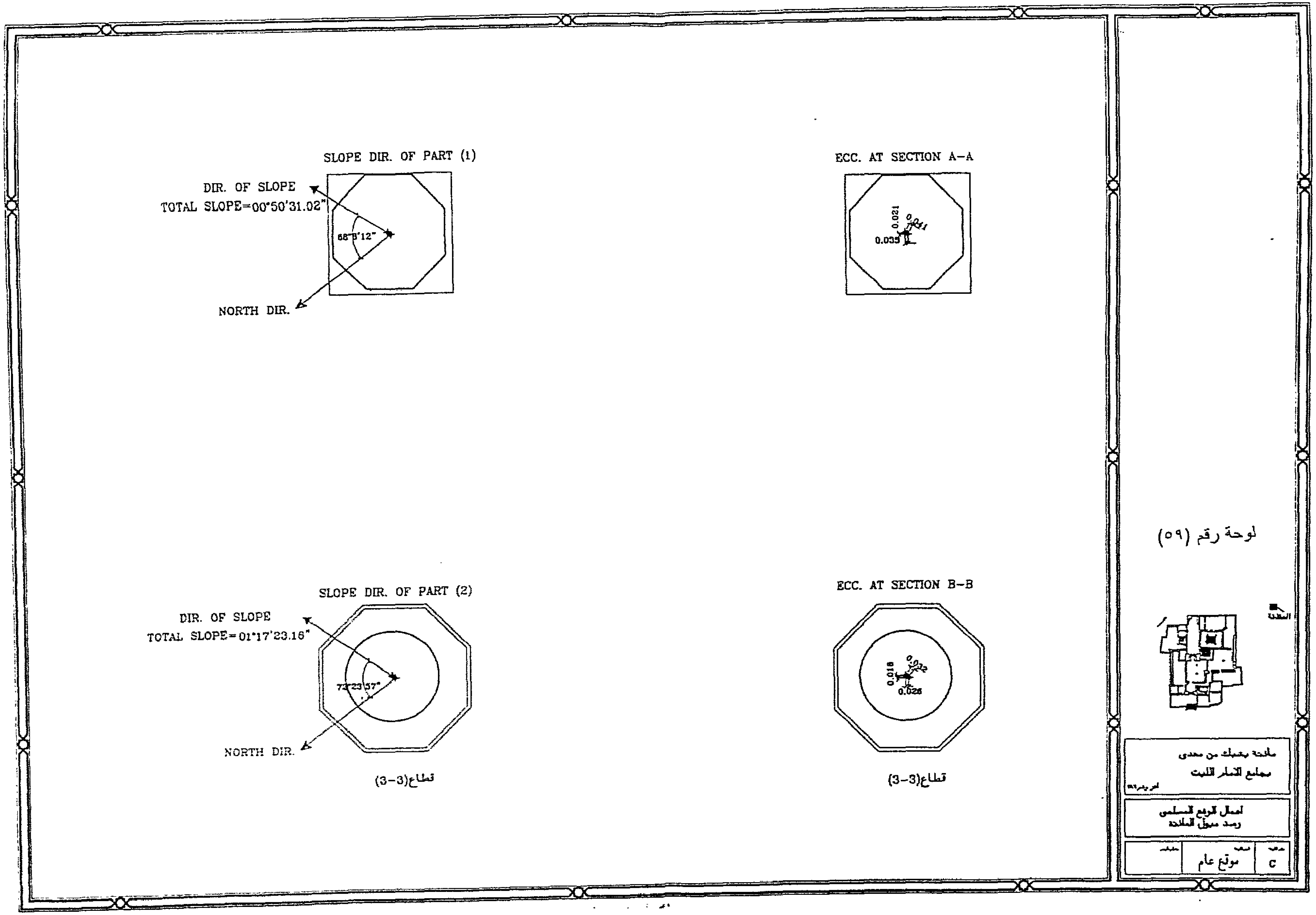


مئذنة يشبك من مهدي

أعمال الرفع المساحي
ورصد ميول المئذنة

موقع عام

B


SLOPE DIR. OF PART (1)
DIR. OF SLOPE
TOTAL SLOPE=00°50'31.02"
68°8'12"
NORTH DIR.
ECC. AT SECTION A-A
0.021
0.035
SLOPE DIR. OF PART (2)
DIR. OF SLOPE
TOTAL SLOPE=01°17'23.16"
73°23'57"
NORTH DIR.
قطاع(3-3)
ECC. AT SECTION B-B
0.018
0.026
قطاع(3-3)
لوحة رقم (٥٩)
موقع عام
C

$21''$ $37'$ $00°$ وذلك فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها $01''$ $34'$ $00°$ وذلك بمحصلة مقدارها $31.02''$ $50'$ $00°$ بزاوية $12''$ $08'$ $68°$ على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى .

ب- وجد أن الجزء الثانى الإسطوانى (Part 2) يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها $03''$ $56'$ $00°$ فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية مقدارها $22''$ $53'$ $00°$ على الاتجاه الرأسى وذلك بمحصلة مقدراها $23.16''$ $14'$ $01°$ بزاوية $57''$ $23'$ $72°$ على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى وتوضح الصور من رقم (٥٤) إلى (٥٧) عمليات الرصد المساحى لمئذنة يشبك من مهدى و التى قام الباحث بإجرائها .

يتضح من الدراسة السابقة أن محصلة الإزاحات والميول طفيفة جداً فى المئذنة ولا تؤثر على إتزانها الإنشائى ، وترجع أسباب الميول فى المئذنة إلى الهبوط غير المنتظم نتيجة الإتصال المباشر بين المئذنة والتربة التى تتكون من تربة ردم حتى عمق يتعدى خمسة أمتار ، وقد اتضح ذلك من خلال الجسات الثلاثة التى تم عملها فى موقع المئذنة بعمق خمسة عشر متراً ، وتختلف طبقات الردم فى الأعماق المختلفة مما يؤدى إلى اختلاف سلوكها الإنشائى ، وتعتبر المئذنة مستقرة ومتزنة إنشائياً فى وضعها الراهن .

## رابعاً : مراقبة التغير فى ميول المئذنة ومدى ثباتها مساحياً :

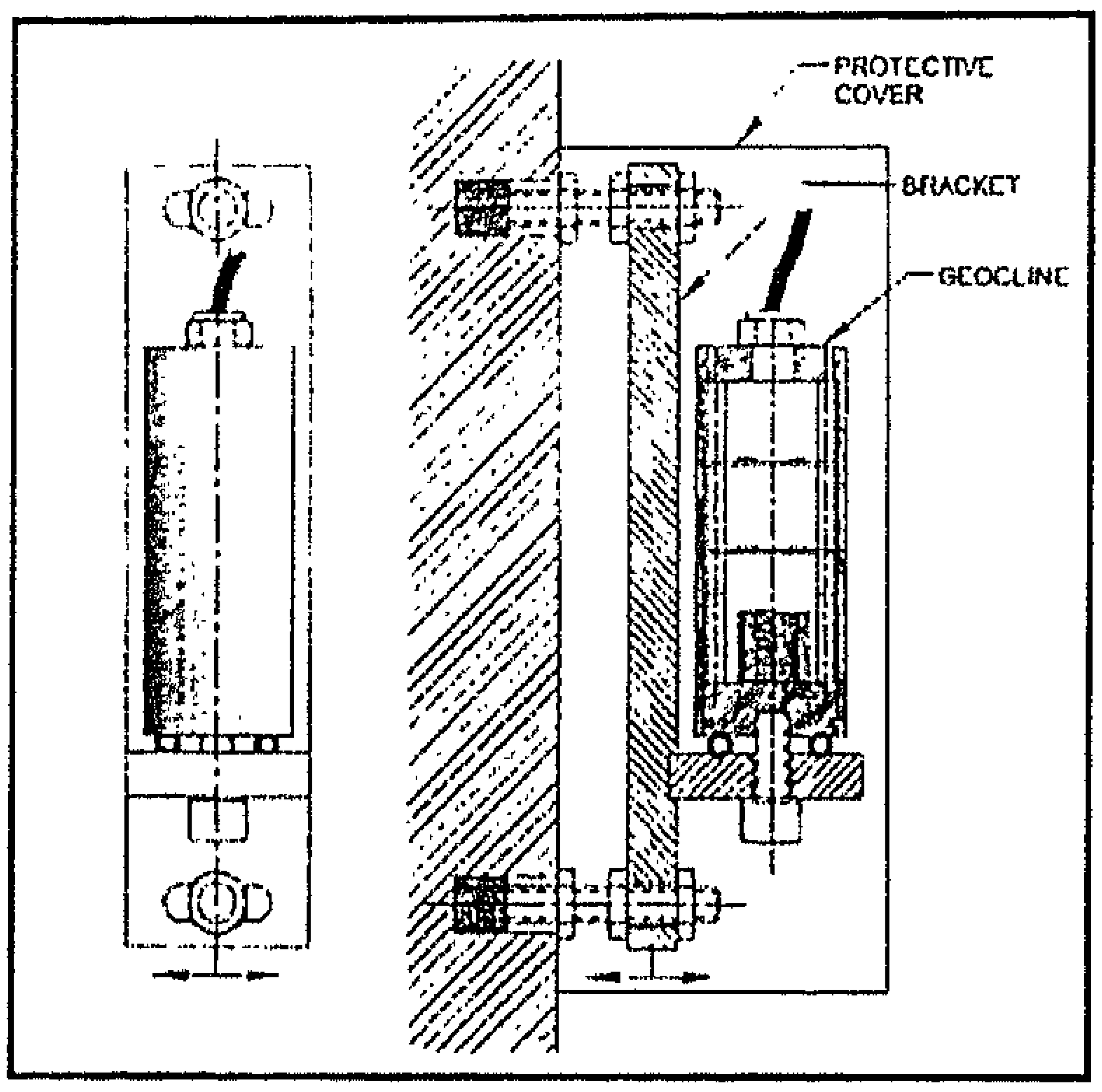
قام الباحث بإجراء دراسة حقلية فى الموقع لمراقبة مدى التغير فى ميل المئذنة ومدى ثباتها باستخدام أحد الأجهزة المساحية المتطورة المستخدم لرصد ومراقبة الميول* وهو جهاز
Differential Micro- Accelerometer Tiltmeter (Model Geocline)
حيث نستطيع بواسطة هذا الجهاز تسجيل وقياس مدى التغير فى الحركة الراسية للمآذن الأثرية بشكل دورى مستمر ومتابعة التغيرات التى تحدث فى المئذنة من حيث رأسيتها وتقييم مدى ثبات حالة المئذنة من عدمه ويتركب الجهاز من ثلاثة أجزاء رئيسية هى

### ١) وحدة قياس الميل Inclinometer Sensor Unit

وهى مركبة من جزئيين جزء يثبت راسياً تماماً فى جدار المئذنة فى اتجاه معلوم ومحدد وهو عبارة عن حامل أو دعامة معدنية Bracket وتثبت رأسياً تماماً فى جدار المئذنة ميكانيكياً بواسطة مسامير معدنية خاصة ومفاتيح خاصة للتثبيت ذات مقطع مربع ولضبط راسية هذا الجزء يتم الاستعانة بميزان مياه ويتضح هذا الجزء بعد أن تم تركيبه فى مئذنة يشبك من مهدى من خلال صورة رقم (٦٠) أما الجزء الثانى من وحدة قياس الميل الحساسة فهو الجزء الذى يقوم بالقياس وهو على درجة عالية من الحساسية للتيار الكهربى ويتكون من وحدتين من السيليكا شديدتى الحساسية Highly Sensitive Capacitive Silica Accelerometers وهما مثبتتين عكس بعضهما لتجنب أخطاء القياس ويعطى القياس بوحدات المللى أمبير ويتضح تخطيط هذه الوحدة من خلال شكل رقم (٣٠) ونتبين منه الحامل المعدنى المثبت فى الجدار الحجرى ووحدة القياس (Geocline) كما يمكن أن يزود هذا الجزء بغطاء واقى Protective Cover ، ويتم تسجيل ورصد رأسية المئذنة أو الميول الموجودة بها عن طريق تركيب وحدة (Geocline) الخاصة بالقياس على

* قام الباحث بإجراء هذه الدراسة خلال الفترة من شهر نوفمبر عام ٢٠٠٢ م حتى شهر يناير عام ٢٠٠٣ م

الحامل المعدنى حيث يتم تسجيل القراءة الأولى كوحدة مرجعية يتم على أساسها مراقبة التغير فى حركة المئذنة بعد ذلك من خلال الدراسة الحقلية التى تجرى بشكل منتظم .




شكل رقم (٣٠) يوضح وحدة قياس الميل **Inclinometer Sensor unit**

### ٢) وحدة الإخراج الكهربى Electrical Out Put Unit

تعتبر هذه الوحدة هى وحدة الإمداد أو الإخراج الكهربى بالجهاز وبها مؤشر يتم توجيهه على الاتجاه (X) أو الاتجاه (Y) طبقاً للجزء المعدنى (الحامل) الذى يتم تثبيته بالمئذنة فى وضع رأسى كما يمكن أن يوجه فى اتجاه (T°) لمعرفة التغيرات فى درجة الحرارة ويتضح من خلال الصورتين رقمى (٥٨) ، (٥٩)

### ٣) وحدة إخراج البيانات Read Out Unit

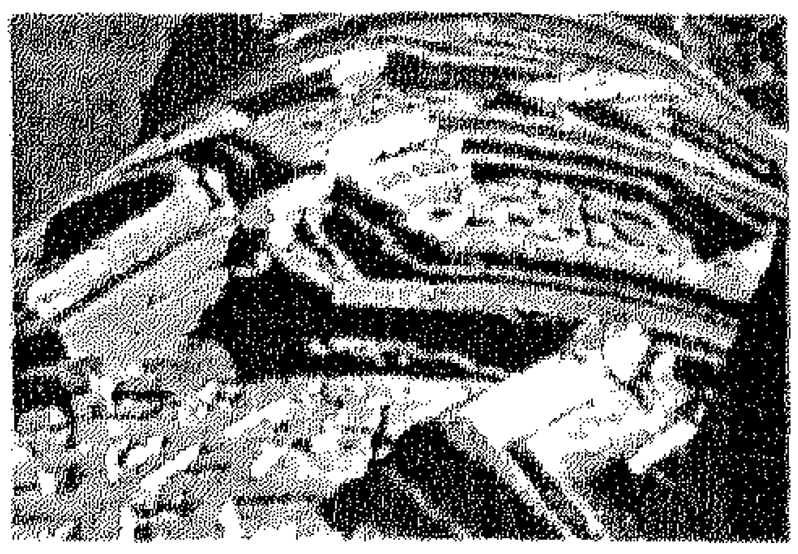
هى الوحدة الثالثة من مكونات الجهاز والتى نستطيع بواسطتها الحصول على بيانات قياس حركة المئذنة وتسجل بوحدة المللى أمبير وتتضح من خلال صورة رقم (٥٨)

## الدراسة الحقلية لمئذنة يشبك من مهدى

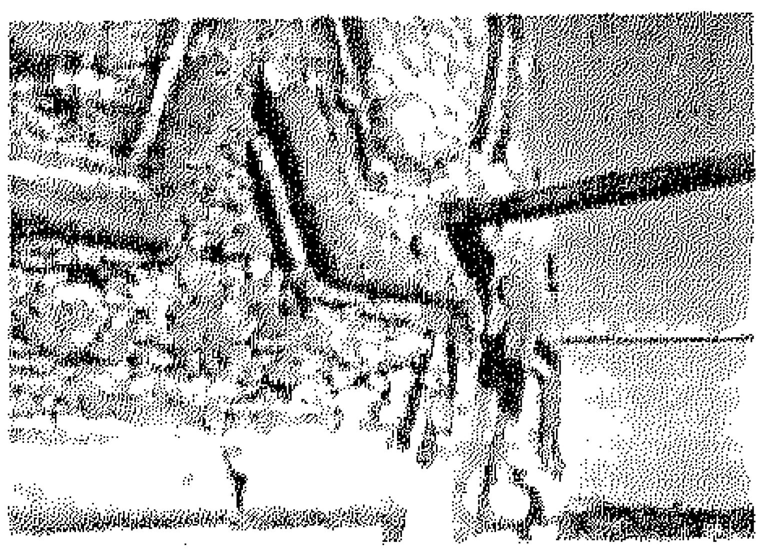
تم عمل دراسة حقلية بمئذنة يشبك من مهدى حيث تم تثبيت الحامل المعدنى رأسي تماما فى قمة المئذنة رقم (٦٠) كما تم إجراء عملية القياس بشكل دورى أسبوعيا لمدة ثلاثة شهور متواصلة للتعرف على مدى ثبات أو حركة المئذنة وتوضح الصورة رقم (٦١) الجهاز أثناء تسجيل إحدى القراءات الخاصة بالمئذنة .

### طريقة حساب النتائج بالدرجات من خلال وحدات المللى أمبير

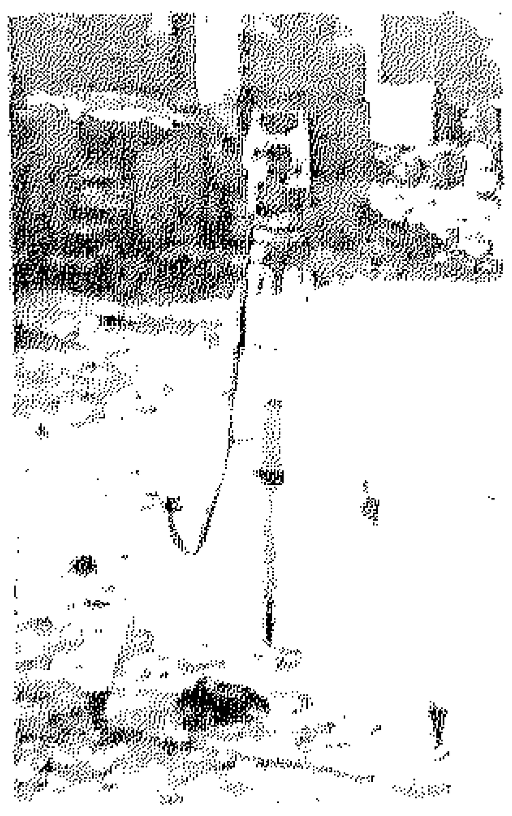
لتحويل نتائج القياس من وحدات المللى أمبير إلى الدرجات Degrees يتم التعويض فى معادلتين خاصتين بالاتجاهين X , Y وذلك كالتالى



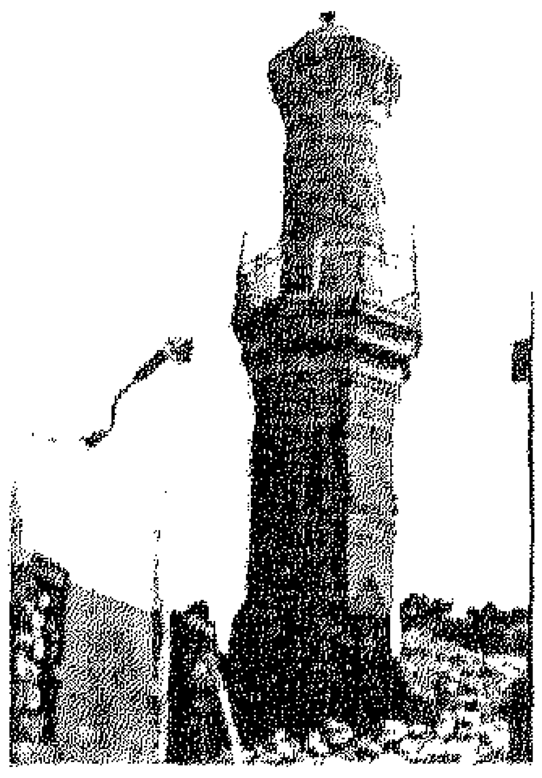
صورة (٥٢)



صورة (٥٣)



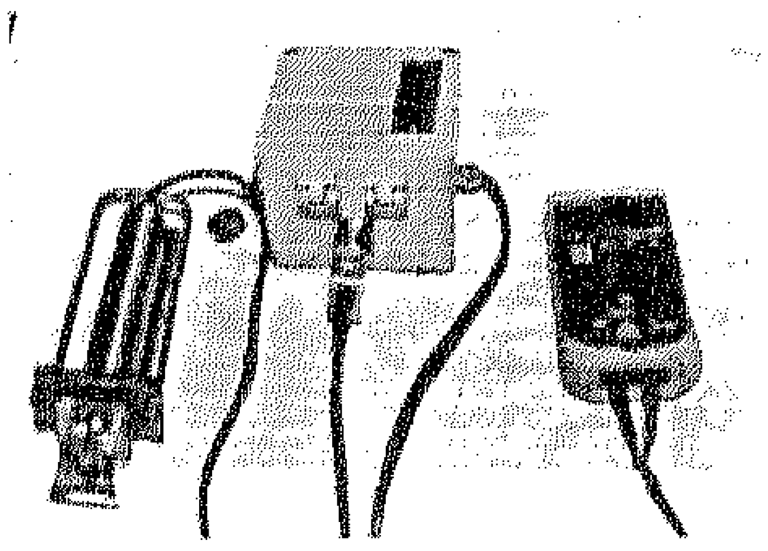
صورة (٥٤)



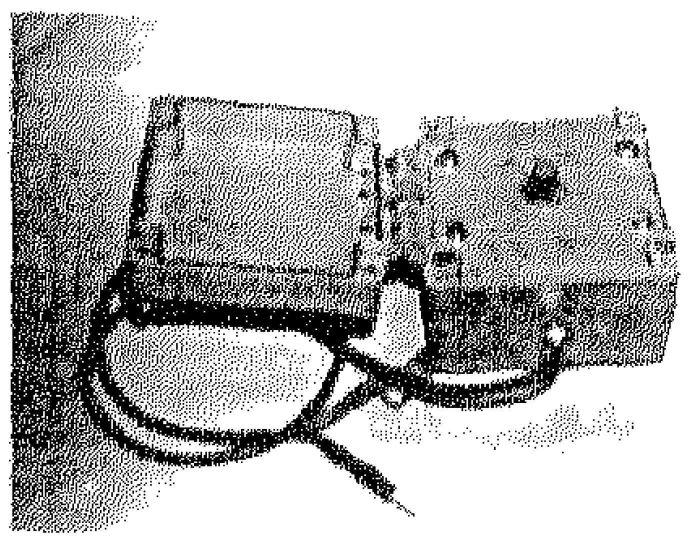
صورة (٥٥)

صورة (٥٦)

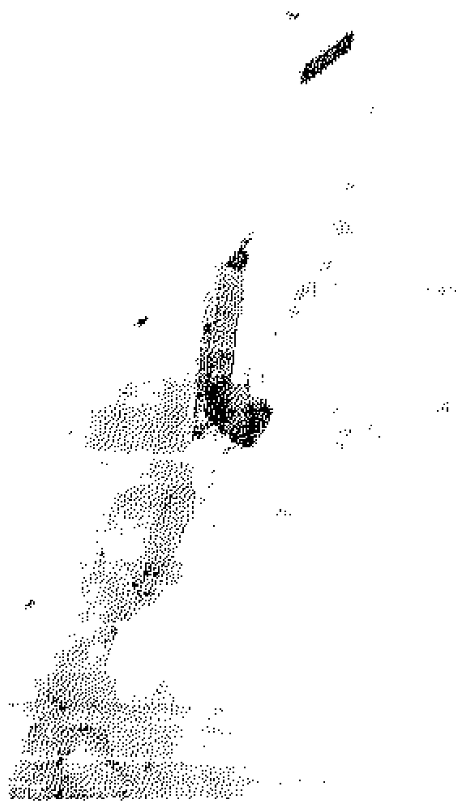
صورة (٥٧)



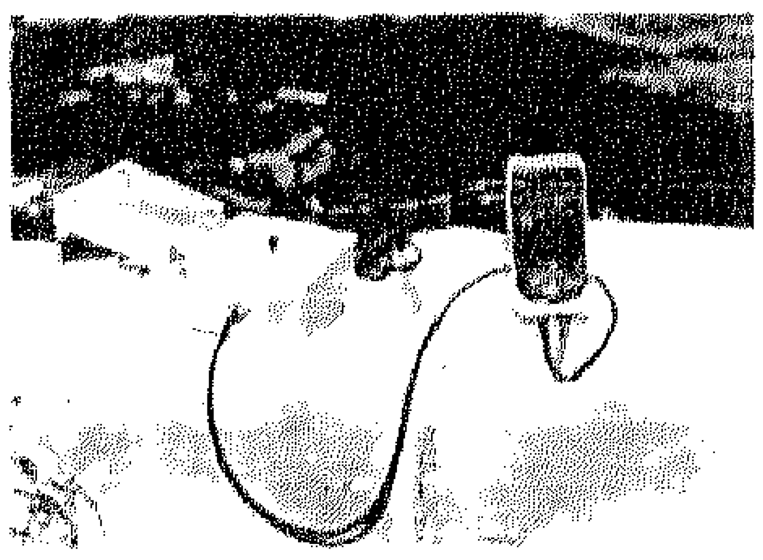
صورة (٥٨)



صورة (٥٩)



صورة (٦٠)



صورة (٦١)

الصور من رقم( ٥٢) إلي ( ٥٣) توضح التوثيق الفوتوغرافي لزخارف المئذنة .

الصور من رقم( ٥٤) إلي ( ٥٧) توضح عمليات الرصد المساحي لميول المئذنة.

الصور من رقم( ٥٨) إلي ( ٦١) توضح جهاز وعمليات مراقبة ميول المئذنة .

(تصوير الباحث)

## المعادلة الخاصة بالاتجاه X

$$Angle = ( I - I_0 ) . K_x$$

حيث I = التيار الكهربي الذى تم قياسه

$I_0$ = 12.004 ( مقدار ثابت )

$K_x$ = 1.248 ( مقدار ثابت )

## ـ المعادلة الخاصة بالاتجاه Y

$$Angle = ( I - I_0 ) . K_y$$

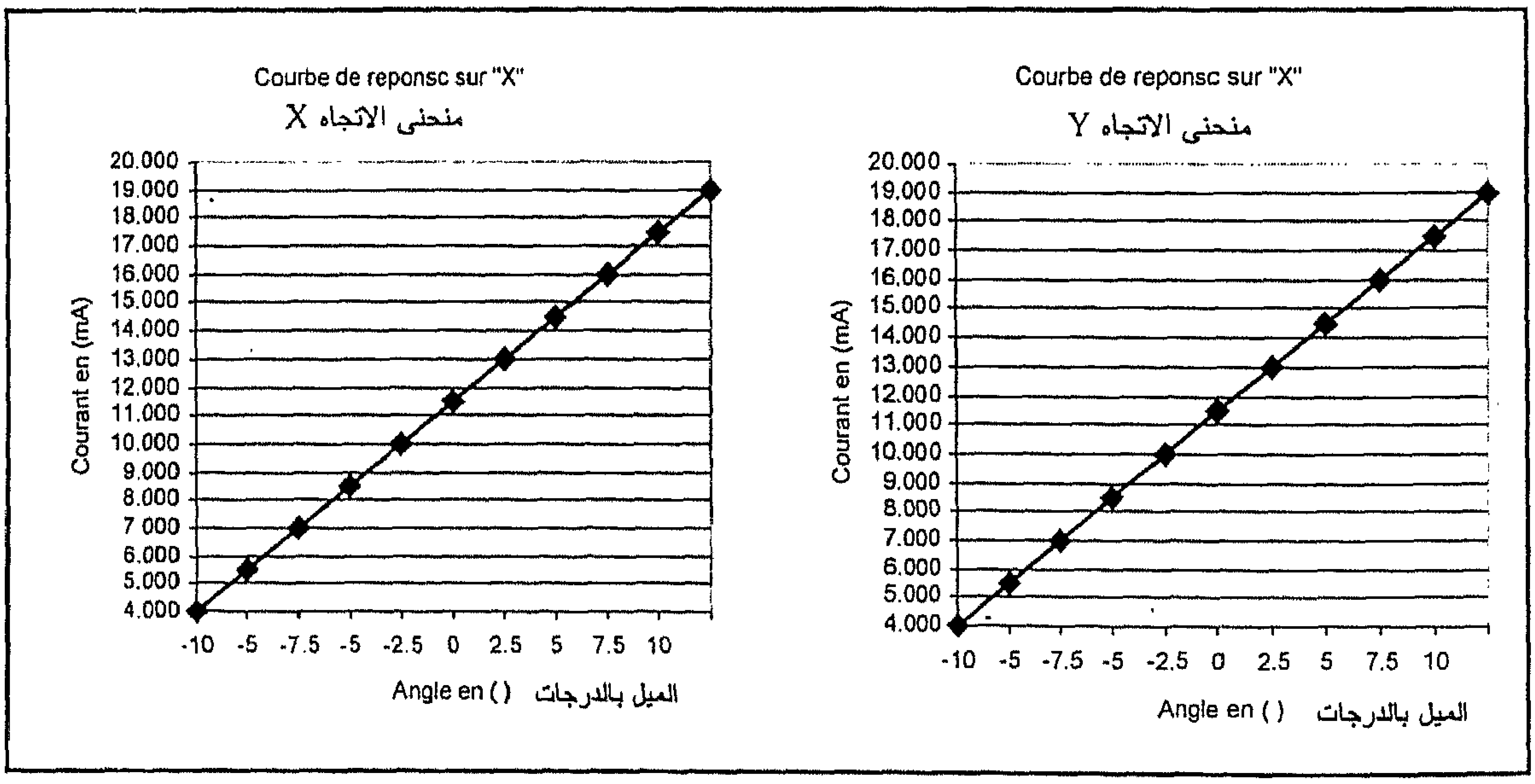
حيث I = التيار الكهربي الذى تم قياسه ( القراءة المسجلة على الجهاز )

$I_0$ = 12.003 ( مقدار ثابت )

$K_y$ = 1.248 ( مقدار ثابت )

## نتائج الدراسة الحقلية لمراقبة حركة مئذنة يشبك من مهدى

- تم التسجيل للقراءات الدورية التى تم أخذها أسبوعيا للمئذنة ولمدة ثلاثة أشهر وذلك كما يتضح من الجدول رقم (١٧) ، حيث تم الاستعانة بالمعادلتين السابقتين لحساب القراءات المأخوذة بالدرجات حيث تعطينا هاتين المعادلتين خطا بيانيا مستقيما عند التعويض بقيم مختلفة مما يدل على دقة النتائج ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٣١) وهو خاص بتحويل النتائج من مللي أمبير إلى درجات في الاتجاهين X,Y



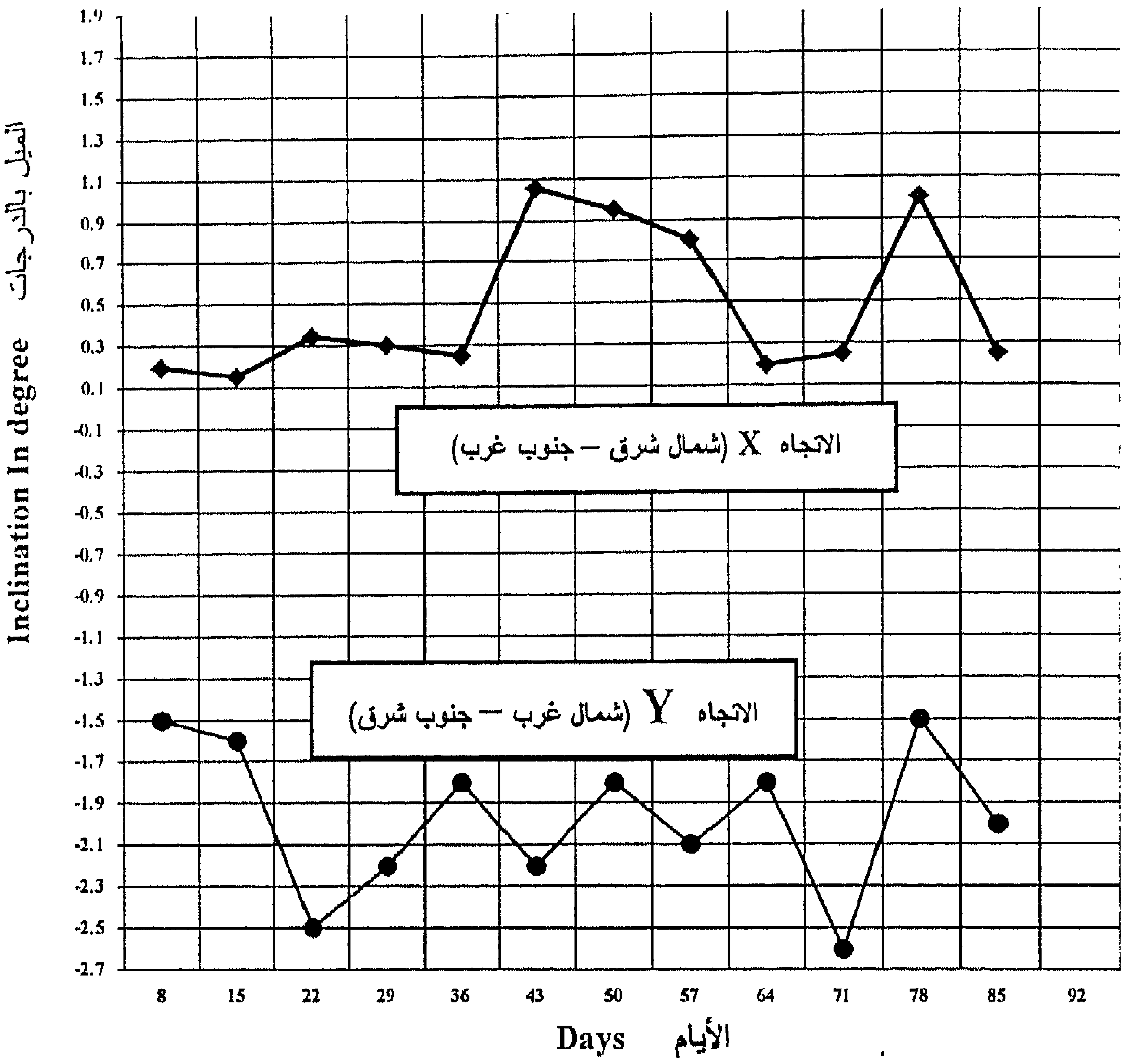

**شكل رقم (٣١ ) يوضح التمثيل البيانى للعلاقة بين قيم الميل بالمللى أمبير وتحويلها بالدرجات للاتجاهين X,Y**

**جدول رقم (١٧) يوضح نتائج مراقبة التغير الديناميكي فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى**

| تاريخ الرصد | | | الميل فى الاتجاه X بوحدة المللي أمبير | الميل فى الاتجاه X بالدرجات | الميل فى الاتجاه Y بوحدة المللي أمبير | الميل فى الاتجاه Y بالدرجات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| يوم | شهر | سنة | | | | |
| ٣ | ١١ | ٢٠٠٢ | ١٢,١٨٥ | ٠,٢٢٦ | ١٠,٨١٢ | ١٠٤٨٦- |
| ١٠ | ١١ | ٢٠٠٢ | ١٢,١٦٣ | ٠,١٩٨ | ١٠,٧٩١ | ١,٥١٣- |
| ١٧ | ١١ | ٢٠٠٢ | ١٢,٢٧٨ | ٠,٣٤٢ | ٩,٩٨٤ | ٢,٥٢٠- |
| ٢٤ | ١١ | ٢٠٠٢ | ١٢,٢٦١ | ٠,٣٢١ | ١٠,٢٦٢ | ٢,١٧٣- |
| ١ | ١٢ | ٢٠٠٢ | ١٢,١٩٢ | ٠,٢٣٥ | ١٠,٥٦١ | ١,٨٠٠- |
| ٨ | ١٢ | ٢٠٠٢ | ١٢,٨٤٥ | ١,٠٥ | ١٠,١٧٨ | ٢,٢٧٨- |
| ١٥ | ١٢ | ٢٠٠٢ | ١٢,٧٨٦ | ٠,٩٧٦ | ١٠,٥٨٢ | ١,٧٧٣- |
| ٢٢ | ١٢ | ٢٠٠٢ | ١٢,٥٩٤ | ٠,٧٣٦ | ١٠,٢٧٧ | ٢,١٥٤- |
| ٢٩ | ١٢ | ٢٠٠٢ | ١٢,١٧٨ | ٠,٢١٧ | ١٠,٤٢٦ | ١,٩٦٨- |
| ٥ | ١ | ٢٠٠٣ | ١٢,٢١٦ | ٠,٢٦٥ | ٩,٩١٥ | ٢,٦٠٦- |
| ١٢ | ١ | ٢٠٠٣ | ١٢,٨١٢ | ١,٠٠٨ | ١٠,٧٦٥ | ١,٥٤٥- |
| ١٩ | ١ | ٢٠٠٣ | ١٢,٢٣٤ | ٠,٢٨٧ | ١٠,٣٩٤ | ٢,٠٠٨- |

ويتضح من خلال الجدول السابق أن التغير الديناميكي فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى تغير طفيف ولا يؤثر على اتزان المئذنة ورأسيتها فنجد أنه فى الاتجاه X وهو اتجاه (شمال شرق – جنوب غرب) كانت القراءة الأولى التى اتخذت كقراءة مرجعية مقدارها ٠,٢٢٦ درجة وقد بلغ أقصى تغير ديناميكي فى الحركة الأفقية فى الاتجاه X ٠,٩ من الدرجة حيث بلغت أقصى قيمة تم قياسها ١,٠٥ درجة وهذه الحركة التأرجحية البسيطة للمئذنة تعتبر عادية بالنسبة لارتفاع المئذنة وأقطار الأجزاء المختلفة بها وتأثرها بحركة الرياح ، أما الاتجاه Y وهو يمثل الاتجاه (شمال غرب – جنوب شرق) فقد بلغت القراءة الأولى المرجعية لـه ١,٤٨٦ درجة وبلغت أقصى قيمة مسجلة ٢.٦٠٦ درجة بتغير ديناميكي أقصى فى الحركة الأفقية مقداره ١,١٢ درجة وقد تغيرت قيمة الحركة الأفقية ودرجة الميل فى هذه الحدود بالزيادة وبالنقصان خلال فترة المراقبة التى استمرت ثلاثة أشهر ولذلك تعتبر هذه الحركة عادية بفعل الرياح ثم تعود إلى وضعها الأصلي مرة أخرى وسوف يتم اجراء عملية رصد ومراقبة مرة أخرى للمئذنة أثناء إجراء الجانب التطبيقي للعلاج والترميم والصيانة لها للتأكد من ثباتها واتزانها . ويوضح الشكل رقم (٣٢) نتائج مراقبة التغير الديناميكي فى الحركة الأفقية للمئذنة باستخدام جهاز:

Differential Micro- Acceleration Tiltmeter ( Model Geocline )




شكل رقم (٣٢) يوضح نتائج مراقبة التغير الديناميكى فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى باستخدام جهاز Tiltimeter Differential Micro- Accelerometer

نستخلص من الدراسة السابقة أن المئذنة ثابتة ومتزنة إنشائياً ويرجع ذلك إلى عمق أساساتها والذى يبلغ ٣,٣متراً طبقاً للدراسة التى تمت للكشف عن أساسات المئذنة وقربها من الطبقة الصخرية الصلبة والمكونة من الحجر الجيرى والتى توجد على عمق يتراوح ما بين ٥,٤ متراً و ٥,٧ متراً طبقاً لنتيجة الجسات الثلاثة التى تم إجراءها بموقع المئذنة كما يساهم الممر النافذ المقبى بقاعدة المئذنة فى توزيع الأحمال الناتجة عن وزن المئذنة بشكل متوازن على طبقات التربة الحاملة للمئذنة مما يؤدى إلى اتزانها وثباتها أيضاً

## خامساً : دراسة الحجر الجيري المستخدم لبناء مئذنة يشبك من مهدي بواسطة الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope

تم إعداد قطاعات رقيقة Thin Sections من الحجر الجيري لمئذنة يشبك من مهدي ثم تم فحص هذه القطاعات ودراستها بواسطة الميكروسكوب المستقطب المزود بكاميرا للتصوير وهذه القطاعات ممثلة لأجزاء مختلفة من المئذنة كما يتضح من الجدول رقم (١٨) .

جدول رقم (١٨) يوضح أماكن اخذ قطاعات الحجري الجيري من مئذنة يشبك من مهدي لفحصها ودراستها بالميكروسكوب المستقطب

| رقم القطاع | المكان |
|---|---|
| ١ | الممر ذو السقف علي شكل قبو (الساباط) اسفل المئذنة. |
| ٢ | العقد العاتق الذي يعلو باب الدخول إلي المئذنة. |
| ٣ | الجزء المربع من بدن المئذنة(القاعدة). |
| ٤ | المستوي الثاني المثمن من بدن المئذنة. |
| ٥ | المستوي الثالث المستدير من بدن المئذنة. |
| ٦ | الحشو الداخلي لقاعدة المئذنة. |

وفيما يلي نتائج الدراسة لقطاعات الحجر الجيري للمئذنة بواسطة الميكروسكوب المستقطب.

## القطاع رقم (١)

يتكون القطاع بصفة أساسية من بلورات دقيقة من الكالسيت Fine Grained Calcite مع نسبة ملحوظة من بلورات معدن الدولوميت والمعادن الطينية وحفريات النيموليت Nummulites المنتشرة في القطاع وهو حجر جيري نيموليتي Mummulitic فنجد أرضية من معدن الكالسيت دقيق التحبب يسمي الميكريت Micrite وبها حفريات من النيموليت حيث نجد قطاع محوري في إحدى حفريات النيموليت Axial Section Of Nummulites Sp. ويتضح ذلك من خلال صورة رقم (٦٢) كما تظهر بعض بلورات الكوارتز تحت الضوء المستقطب كما يظهر في الصورة رقم (٦٣ ) كما تظهر بلورات كاملة الأوجه من الدولوميت Euhedral Dolomite Crystals من خلال تكبير إحدى حفريات النيموليت وذلك في أرضية دقيقة التحبب من الكالسيت .Fine Grained Cal ، كما نجد تجمعات لأكسيد الحديد في أرضية دقيقة التحبب من معدن الكالسيت والمعادن الطينية صورة رقم (٦٤) ونلاحظ وجود الحفريات بكثرة في هذا القطاع مما يدل علي أن هذا الحجر الجيري هو نوع من الأحجار الجيرية الحفرية Fossilefrous Lime Stone فنجد قطاعات محورية وعرضية في حفريات النيموليت Axial And Equatorial Section Of Numulites وبالإضافة لذلك نجد إحلال للحفريات بالدولوميت محل الكالسيت وذلك في حالة وجود محاليل غنية بالماغنسيوم ويظهر ذلك بوضوح من خلال صورة رقم (٦٥).

## القطاع رقم (٢)

من خلال فحص ودراسة هذا القطاع ظهر بوضوح أيضا أن الحجر الجيري من نوع الحجر الجيري الحفري Fossilefrous Lime Stone وهو يتكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت دقيق التحبب مع معادن طينية مع وجود نسبة ضئيلة من معدن الكوارتز ووجود حفريات النيموليت والفورامينفرا منتشرة في القطاع والملاحظ وجود إحلال لبعض أجزاء الحفريات من نوع النيموليت بمعدن الدولوميت ، فنجد بشكل عام في القطاع معدن الكالسيت دقيق التحبب مع المعادن الطينية ونسبة ضئيلة من معدن الكوارتز إلى جانب وجود تجمعات من أكاسيد الحديد ويظهر ذلك من خلال الصورة رقم (٦٦) ، كما توجد بعض الحفريات التي حدث

لها إحلال بمعدن الدولوميت محل معدن الكالسيت وقد يكون ذلك بسبب وجود محاليل غنية بالماغنسيوم ويتضح ذلك من خلال الفحص وتكبير إحدى الحفريات فنجد بلورات الدولوميت واضحة كما بالصورة رقم(٦٧) إلى جانب ذلك نجد تجمعات من الطحالب المختلفة المنتشرة مع الحفريات وتظهر الطحالب بوضوح Algae كما بالصورة رقم (٦٨) ومن أنواع الحفريات الموجودة الفورامنيفرا Foramini Fera فنجد قطاع محوري في حفرية فورا مينفرا من فصيلة .Globigrina Sp صورة رقم (٦٩) كما نجد الطحالب مختلطة مع حفريات النيموليت والتي تم إحلالها بمعدن الدولوميت محل معدن الكالسيت ، ونجد أيضا حفريات النيموليت Nummulites المختلطة بالطحالب Algae وذلك من خلال قطاع عرضي في النيموليت Equatorial Section Of Nummulites Sp. ، كما أن بالحفرية إحلال بالمعادن الطينية وأكاسيد الحديد ويظهر ذلك بوضوح من خلال صورة رقم (٧٠ ).

## القطاع رقم (٣)

من خلال الفحص والدراسة للقطاع نجد وجود تجمعات ملحوظة من أكاسيد الحديد إلى جانب انتشار الحفريات Fossils ولكن بأحجام اصغر من أحجام الحفريات في القطاعين رقم (١)،(٢) مع وجود إحلال للحفريات بمعدن الدولوميت محل معدن الكالسيت ووجود الطحالب مختلطة مع الحفريات ، فنجد تجمعات أكاسيد الحديد مع وجود معدن الكالسيت دقيق التحبب ومعدن الدولوميت صورة رقم (٧١) ونجد إحدى الحفريات وتظهر الحجرات المكونة لها مع وجود الطحالب Algae صورة رقم (٧٢) وتظهر أكاسيد الحديد مع جزء من مقطع في حفرية نيموليت تم إحلالها أيضا بالدولوميت محل معدن الكالسيت ، صورتين رقمى (٧٣)،(٧٤).

## القطاع رقم (٤)

يتكون القطاع بصفة أساسية من بلورات دقيقة التحبب من معدن الكالسيت مع نسبة ملحوظة من حبيبات دقيقة الحجم من الكوارتز والمعادن الطينية بالإضافة إلى وجود تجمعات من اكاسيد الحديد ، فنجد حجر جيري دقيق التحبب Fine Grained Limestone مع نسبة ملحوظة من اكاسيد الحديد ، صورة رقم (٧٥) كما نجد بعض الحفريات Fossils والطحالب Algae إلى جانب بعض حبيبات معدن الكوارتز وتجمعات من اكاسيد الحديد،صورة رقم (٧٦) .

## القطاع رقم (5)

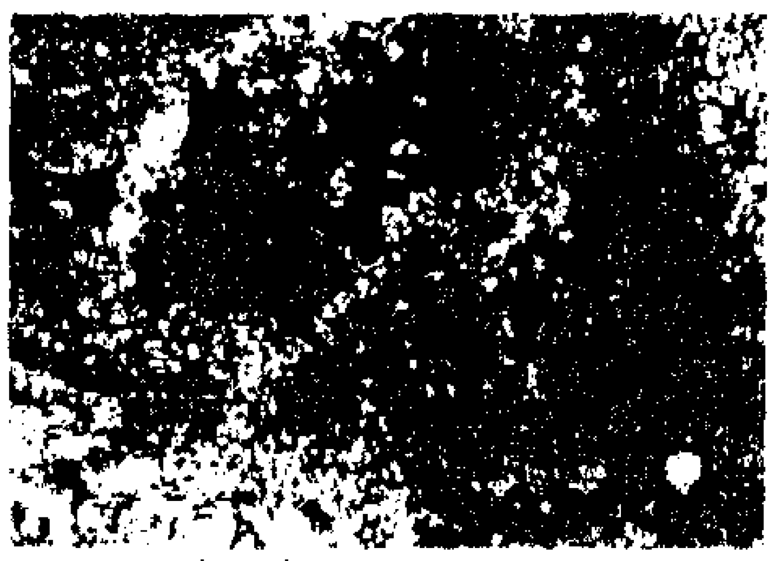
بفحص ودراسة القطاع وجد أنه يتكون بصفة من بلورات دقيقة من معدن الكالسيت ونسبة ملحوظة من اكاسيد الحديد والمعادن الطينية مع نسبة ضئيلة من حبيبات دقيقة من الكوارتز إلى جانب وجود حفريات النيموليت والحفريات المكونة من معدن الدهاليت Dhalite ( معدن صمغى يميل إلى الأصفرار أو البياض يتكون من كربونات الأباتيت ويوجد أحياناً فى تجمعات درنية )[1]، فنجد تجمعات اكاسيد الحديد واضحة في أرضية دقيقة التحبب من معدن الكالسيت وجزء من إحدى الحفريات التي تم إحلالها جزئيا بمعدن الدولوميت إلى جانب إحدى الحفريات المكونة من معدن الدهاليت Dhalite ، صورة رقم (٧٧) ، وتظهر بوضوح المعادن الطينية المختلطة مع معدن الكالسيت دقيق التحبب في وجود حبيبات دقيقة من معدن الكوارتز، ونفس المكونات السابقة من اكاسيد الحديد والمعادن الطينية إلى جانب وجود إحدى الحفريات تظهر من خلال الصورة رقم (٧٨) .

---

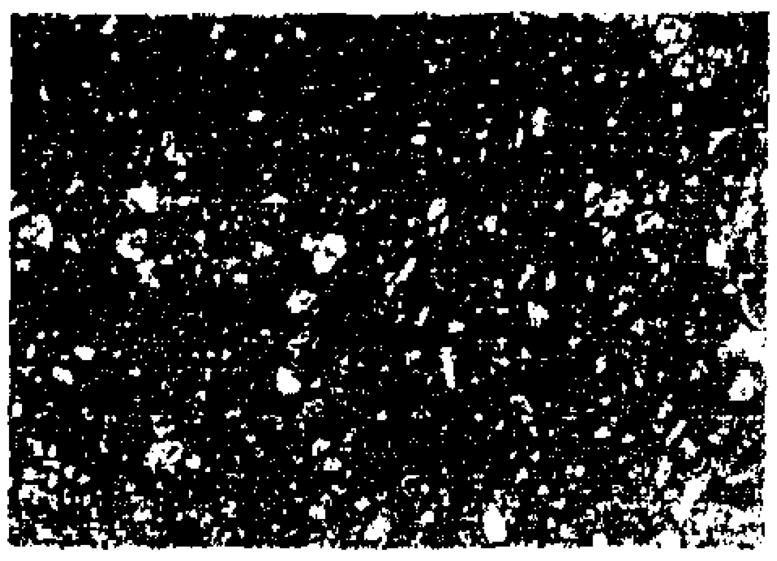
(1) Robert, L. Bates and Julia A. Jackson: Glossary of Geology, American Geological Institute, Second Ed., Virginia, 1980, p159

صورة رقم (٦٢)

صورة رقم (٦٣ )

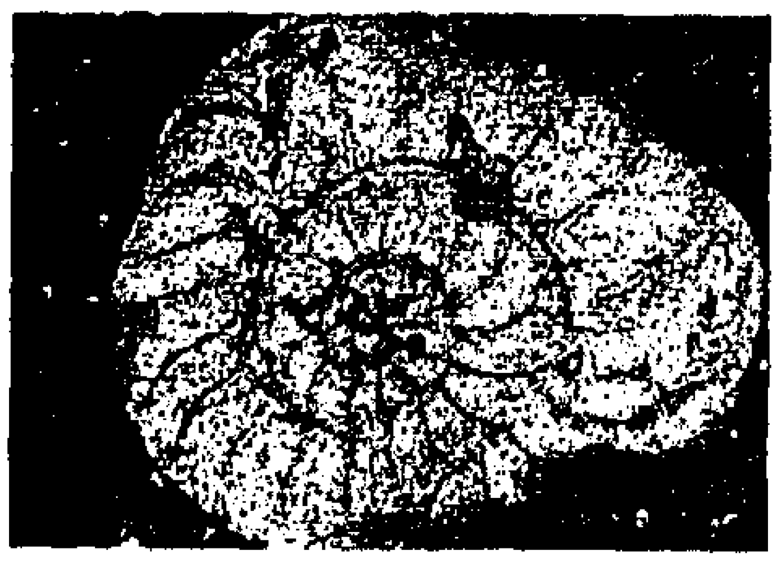

صورة رقم (٦٤)

صورة رقم (٦٥ )

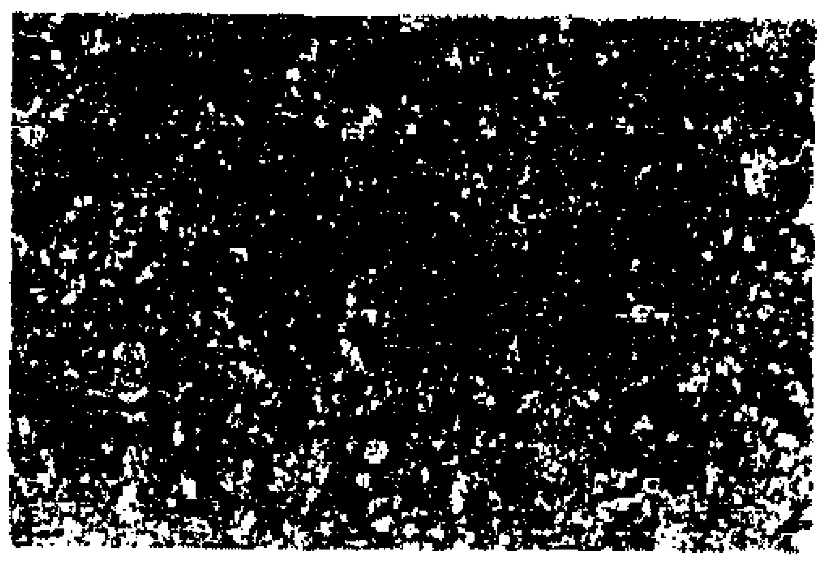

صورة رقم (٦٦ )

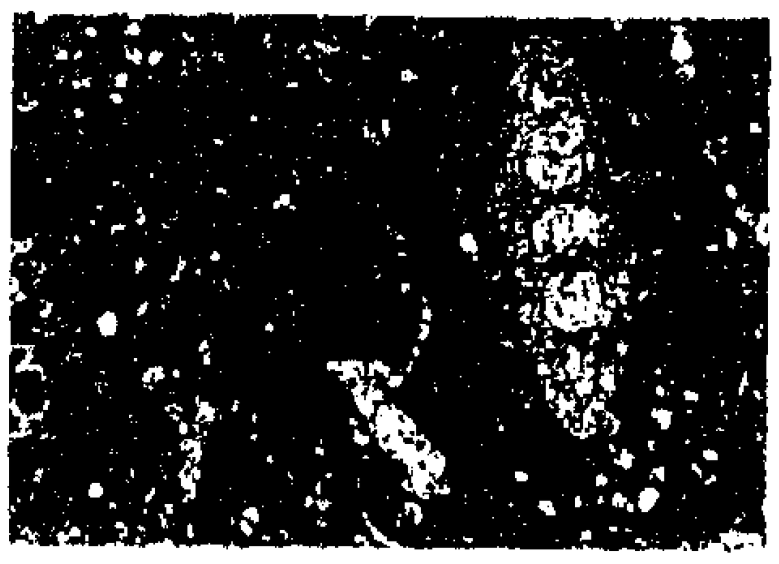
صورة رقم (٦٧ )

صورة رقم (٦٨ )

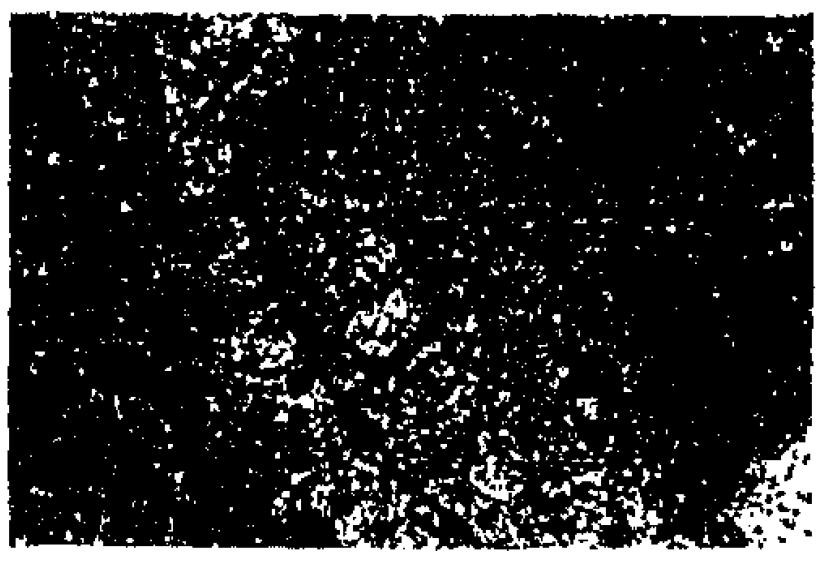

صورة رقم (٦٩ )

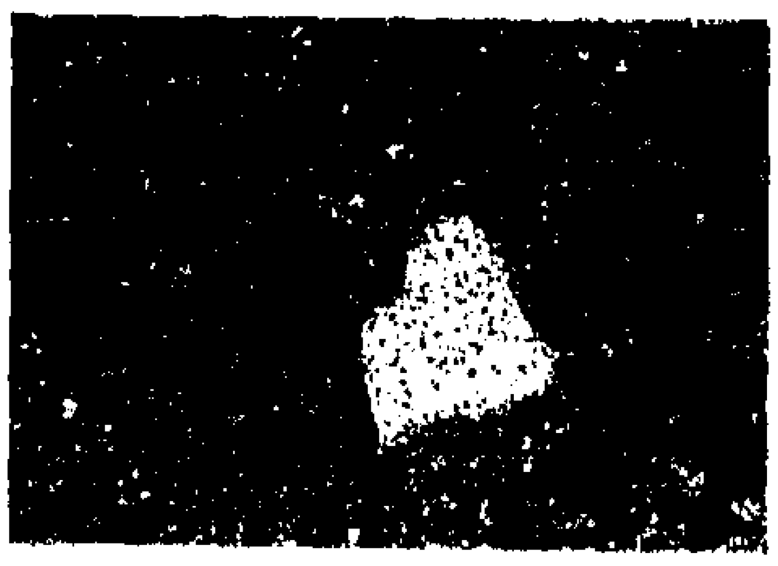
صورة رقم (٧٠ )

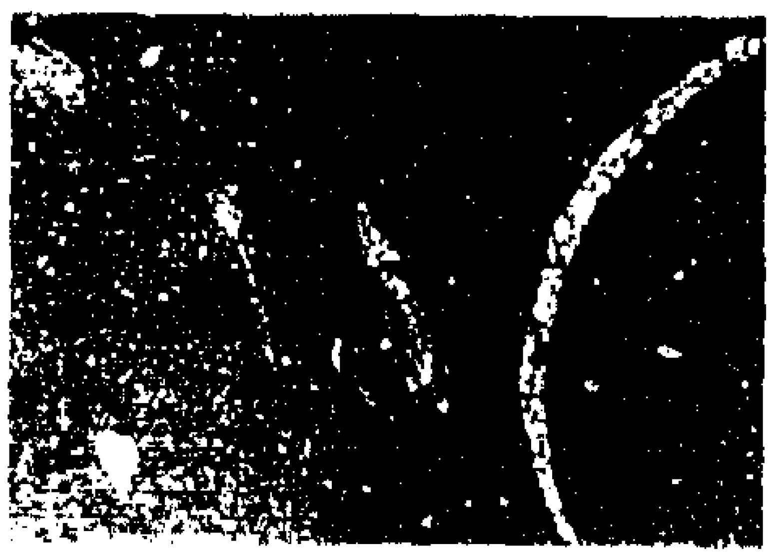

صورة رقم (٧١ )


صورة رقم (٧٢ )

صورة رقم (٧٣ )


صورة رقم (٧٤ )


صورة رقم (٧٥ )


صورة رقم (٧٦ )

الصور من رقم (٦٢) إلى رقم (٦٥) توضح القطاع رقم (١) ويظهر به حفريات النيموليت وبعض بلورات من معدن الدولوميت والطحالب وتجمعات من أكاسيد الحديد فى أرضية دقيقة التحبب من معدن الكالسيت .

الصور من رقم (٦٦) إلى رقم (٧٠) توضح القطاع رقم (٢) ويظهر به أيضاً تجمعات من أكاسيد الحديد فى أرضية دقيقة التحبب من معدن الكالسيت وتجمعات من المعادن الطينية وحفريات النيموليت

الصور من رقم (٧١) إلى رقم (٧٤) توضح القطاع رقم (٣) وبه نفس مكونات القطاعين السابقين .

الصورتان رقمى (٧٥) ، (٧٦) توضح القطاع رقم (٤) ويتميز بوجود بعض حبيبات معدن الكوارتز إلى جانب المكونات السابقة .      ( تصوير الباحث )

## القطاع رقم (٦)

يتكون القطاع بصفة أساسية من بلورات دقيقة التحبب من معدن الكالسيت مع وجود تجمعات من اكاسيد الحديد والمعادن الطينية ووجود فجوات منتشرة بالقطاع تكونت أثناء عمل القطاع ومن المرجح تكونيها نتيجة ذوبان بعض الأملاح الموجودة بالحجر أثناء عمل القطاع إلى جانب وجود بعض الحفريات فنجد احدي الحفريات في أرضية دقيقة التحبب من معدن الكالسيت والمعادن الطينية ، صورة رقم (٧٩) ونجد انتشار للفجوات بالقطاع قد تكون نتيجة ذوبان ما يحتويه القطاع من أملاح مع وجود المعادن الطينية واكاسيد الحديد، صورة رقم (٨٠) ، ونجد نفس هذه المكونات مع وجود نسبة من حبيبات دقيقة من معدن الكوارتز ويظهر ذلك من خلال الصورة رقم (٨١) ، كما نجد إحدى الحفريات المكونة من معدن الدهاليت في أرضية من الكالسيت دقيق التحبب والمعادن الطينية واكاسيد الحديد إلى جانب وجود بلورة من الكوارتز صورة رقم(٨٢).

## نتائج الفحص والدراسة

ونستخلص من خلال فحص ودراسة القطاعات السابقة أن الحجر الجيري الذي يمثل مادة بناء مئذنة يشبك من مهدي هو حجر جيري حفري Fossilefrous Limestone غني بحفريات النيموليت Nummulites والفورامنيفرا Foraminifera إلى جانب وجود بعض الحفريات المكونة من معدن الدهاليت Dhalite وهذا الحجر الجيري مكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت دقيق التحبب Fine Grained Calcite مع انتشار تجمعات من اكاسيد الحديد والمعادن الطينية إلى جانب وجود الطحالب Algae مختلطة مع الحفريات Fossils بالإضافة لذلك توجد بعض الحبيبات الدقيقة من معدن الكوارتز إلى جانب وجود نسبة من الأملاح بالحجر الجيري نتيجة عمليات التلف التي تعرض لها بفعل تبلور الأملاح بين مكوناته والتي حدثت لها عملية إذابة أثناء عمل أحد القطاعات مما أدى إلى انتشار بعض الفجوات في القطاع.

# سادساً : دراسة وفحص الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح

## Scanning Electron Microscope [SEM]

تم فحص ثلاثة عينات من الأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى وقد كانت نتائج الفحص كما يلى .

## نتائج الفحص

أتضح من خلال فحص العينات تعرض أسطح مئذنة يشبك من مهدى إلى التآكل والتفكك فى بعض الأجزاء بسبب فقدان المادة الرابطة بين بلورات معدن الكالسيت المكون الرئيسى للحجر الجيرى كما يتضح من الصورة رقم (٨٣) بالإضافة إلى انفصال فى الطبقات السطحية للحجر الجيرى بفعل تبلور الأملاح كما يظهر من خلال الصورة رقم (٨٤) ، كما تبين الضغوط والاجهادات التى تعرض لها الحجر الجيرى بفعل تبلور الأملاح ووجودها بكثافة كبيرة بين حبيبات الأحجار كما بالصورة رقم (٨٥) كما ظهرت بعض التجاويف والأجزاء الغائرة بفعل انفصال وفقدان بعض بلورات الكالسيت إلى جانب ذوبان بعض المكونات القابلة للذوبان كما يتضح من خلال الصورة رقم(٨٦) مما يجعل هذا السطح عرضه أكثر للتلف بفعل ترسيب الملوثات الجوية المختلفة بين ثنايا هذه التجاويف والأجزاء المتآكلة الغائرة حيث يساهم ذلك بشكل كبير فى

زيادة التلف للأسطح الحجرية للمئذنة خاصة فى جو مدينة القاهرة الملوث وفى وجـود الرطوبـة بصورها المختلفة سواء الرطوبة الجوية مثل التكثف ومياه الأمطار والرطوبة الأرضية المتمثلة فى المياه الأرضيـة ، كما نجد أن بعض بلورات الكالسيت قد تعرضت للتهشم والتشوه الشكلى بسبب فقدان بعض أجزائـها بفعل الضغوط والاجهادات الناشئة عن تبلور الأملاح أو بفعل ذوبان بعض أجزائها بتأثير الرطوبة ، كما تلعب عملية تبلور الأملاح بين مكونات الأحجار ثم ذوبانها وتحركها إلى أماكن أخرى ثم إعادة التبلور فـى هـذه الأماكن الجديدة إلى جانب أن أحجار المئذنة غنية بالحفريات وعند نزح هذه الحفريات من أماكنها تترك هـذه الأماكن شاغرة حيث تحتل بعد ذلك بالمحاليل الملحية التى سرعان ما تتبخر بفعل ارتفـاع درجـة الحـرارة وتؤدى إلى تبلور المزيد من الأملاح وبالتالى المزيد من التفكك والتآكل لمكونات الأحجار كما يتضـح مـن خلال الصورتين رقمى (٨٧)،(٨٨) حيث نجد بلورات من ملح الهاليت ( كلوريد الصوديوم ) .

## سابعاً : تحليل ودراسة الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى باستخدام وحدة (EDX) الملحقة بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح (SEM)

تم تحليل ودراسة عينتين من الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى بواسطة وحدة (EDX) وذلك للتعرف على العناصر المكونة للحجر الجيرى ونسب وجودها فيه وقد كانت النتائج كالتالى

### أ ـ عينة رقم (١)

تبين أنها مكونة من شكل أساسى من عنصر الكالسيوم Ca بنسبة ٣١,٢٤% والأكسجين O بنسبة ٣٩,٤٦% إلى جانب وجود عنصر السيليكون Si بنسبة ١٤,١٣% بالإضافة إلى وجود بعض العناصر الأخـرى مثـل الحديد Fe والالمونيوم Al وغيرها والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (١٩) والشكل رقم (٣٣).

**جدول رقم (١٩) يوضح نتائج التحليل للعينة رقم (١) باستخدام وحدة (EDX) للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى**

| Element | Element % | Compound | Compound % |
|---|---|---|---|
| Al | 7.53 | $Al_2O_3$ | 14.22 |
| Si | 14.13 | $SiO_2$ | 30.24 |
| S | 1.43 | $SO_3$ | 3.56 |
| Cl | 0.83 | - | 0.00 |
| K | 1.27 | $K_2O$ | 1.52 |
| Ca | 31.24 | CaO | 43.71 |
| Ti | 0.26 | $TiO_2$ | 0.43 |
| Fe | 3.69 | $Fe_2O_3$ | 5.27 |
| Cu | 0.14 | CuO | 0.18 |
| Zn | 0.03 | ZnO | 0.04 |
| O | 39.46 | - | |
| Total | 100.00 | | 99.17 |

**ب ـ عينة رقم (٢)**

تبين أنها مكونة من شكل أساسي من عنصر الكالسيوم Ca بنسبة ٣٠,٥٧% والأكسجين O بنسبة ٣٨,١٨% إلى جانب وجود بعض العناصر الأخرى مثل الكلـــور Cl بنســبة ٥,٧٤% والكـبريت S بنســبة ٩,٨٥% والألمونيوم Al بنسبة ٦,٦٢% والسيليكون Si بنسبة ٩,٨٥% إلى جانب وجود عناصر أخرى بنسبة ضئيلة ومتفاوته والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٢٠) والشكل رقم (٣٣) .

**جدول رقم (٢٠) يوضح نتائج التحليل للعينة رقم (٢) باستخدام وحدة (EDX)**
**للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى**

| Element | Element % | Compound | Compound % |
|---|---|---|---|
| Na | 0.85 | $Na_2O$ | 1.14 |
| Al | 6.62 | $Al_2O_3$ | 12.51 |
| Si | 3.43 | $SiO_2$ | 7.33 |
| S | 9.85 | $SO_3$ | 24.61 |
| Cl | 5.74 | - | 0.00 |
| K | 3.57 | $K_2O$ | 4.30 |
| Ca | 30.57 | CaO | 42.78 |
| Fe | 0.63 | $Fe_2O_3$ | 0.90 |
| Cu | 0.45 | CuO | 0.56 |
| Zn | 0.10 | ZnO | 0.13 |
| O | 38.18 | - | - |
| Total | 100.00 | | 94.26 |

نستخلص من النتائج السابقة وجود الكالسيوم بنسبة عالية ويرجع ذلك لأن العينتين من الحجر الجيرى المكون أساساً من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم) كما نجد نسبة من السيليكا والتى ترجع إلــى وجــود معــدن الكوارتز فى العينتين كما نجد نسبة من الالومونيوم والتى ترجع إلى وجود نسبة من المعادن الطينيـــة التــى تتكون من سيليكات الالومونيوم المائية والتى ساهمت إلى حد كبير فى تدهور وتآكل أســطح الأحجــار إلــى جانب وجود نسبة من الصوديوم والكلور والتى تكون ملح الهاليت (كلوريد الصوديوم) والذى يعتــبر عــامل متلف ايضاً لأحجار المئذنة .

## ثامناً : تحليل ودراسة مواد البناء والأملاح بواسطة حيود الأشعة السينية

## Analysis And Study Of Building Materials And Salts By X-Ray Diffraction

تم تحليل ودراسة الحجر الجيري والمونة الممثلة لمواد بناء مئذنة يشبك من مــهدي وكذلــك كسـر الحجـر الجيري ومادة الحشو الداخلي من منطقة قاعدة المئذنة إلى جانب دراسة الأملاح الموجودة وذلك من خــلال عدد من العينات وذلك كما يتضح من الجدول التالي.

جدول رقم (٢١) يوضح العينات التي تم دراستها بواسطة حيود الأشعة السينية

| رقم العينة | نوع العينة |
|---|---|
| ١. | حجر جيري (مادة بناء المئذنة). |
| ٢. | أملاح. |
| ٣. | أملاح. |
| ٤. | مونة بناء المئذنة. |
| ٥. | الحشو الداخلي لمنطقة قاعدة المئذنة. |
| ٦. | كسر حجر جيري مستخدمة مع الحشو الداخلي للمئذنة. |

**العينة رقم (١)**

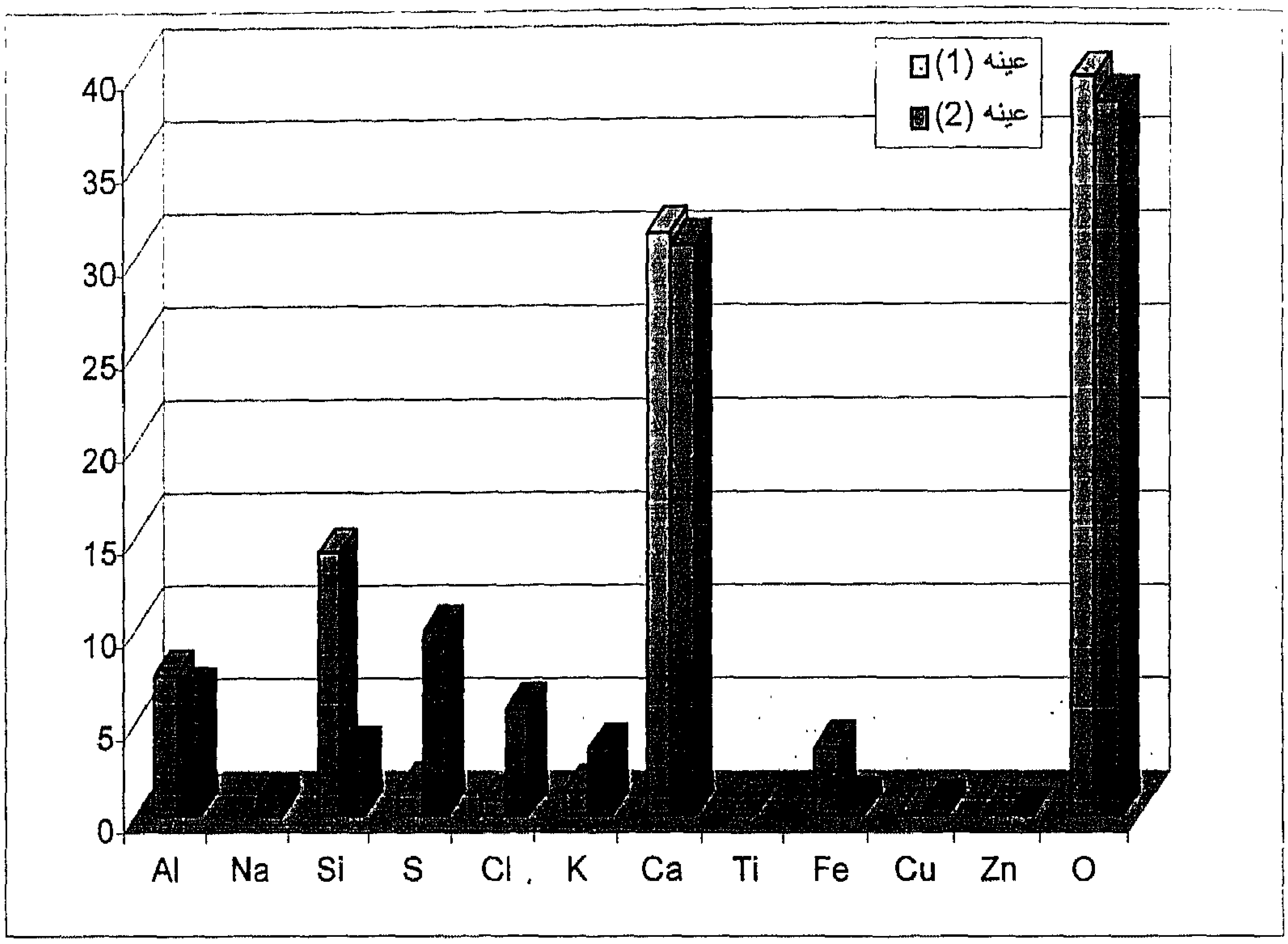
تمثل هذه العينة الحجر الجيري المستخدم لبناء المئذنة وقد وجد أن هذه العينة مكونة بشكل أساسي من معدن الكالسيت $CaCO_3$ ورقم الكارت (5-0586) بالإضافة إلى وجود معدن الهاليت NaCl ، رقم الكارت (5-0628) ومعدن الكوارتز $SiO_2$ ، رقم الكارت (5-0490) ، ومن خلال هذه العينة يتضح أن الحجر الجيري مكون من معدن الكالسيت مع وجود معدن الهاليت ومعدن الكوارتز فهو يوجد كمادة رابطة بين حبيبات معدن الكالسيت ويوضح شكل رقم (٣٤) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.

**العينة رقم (٢)**

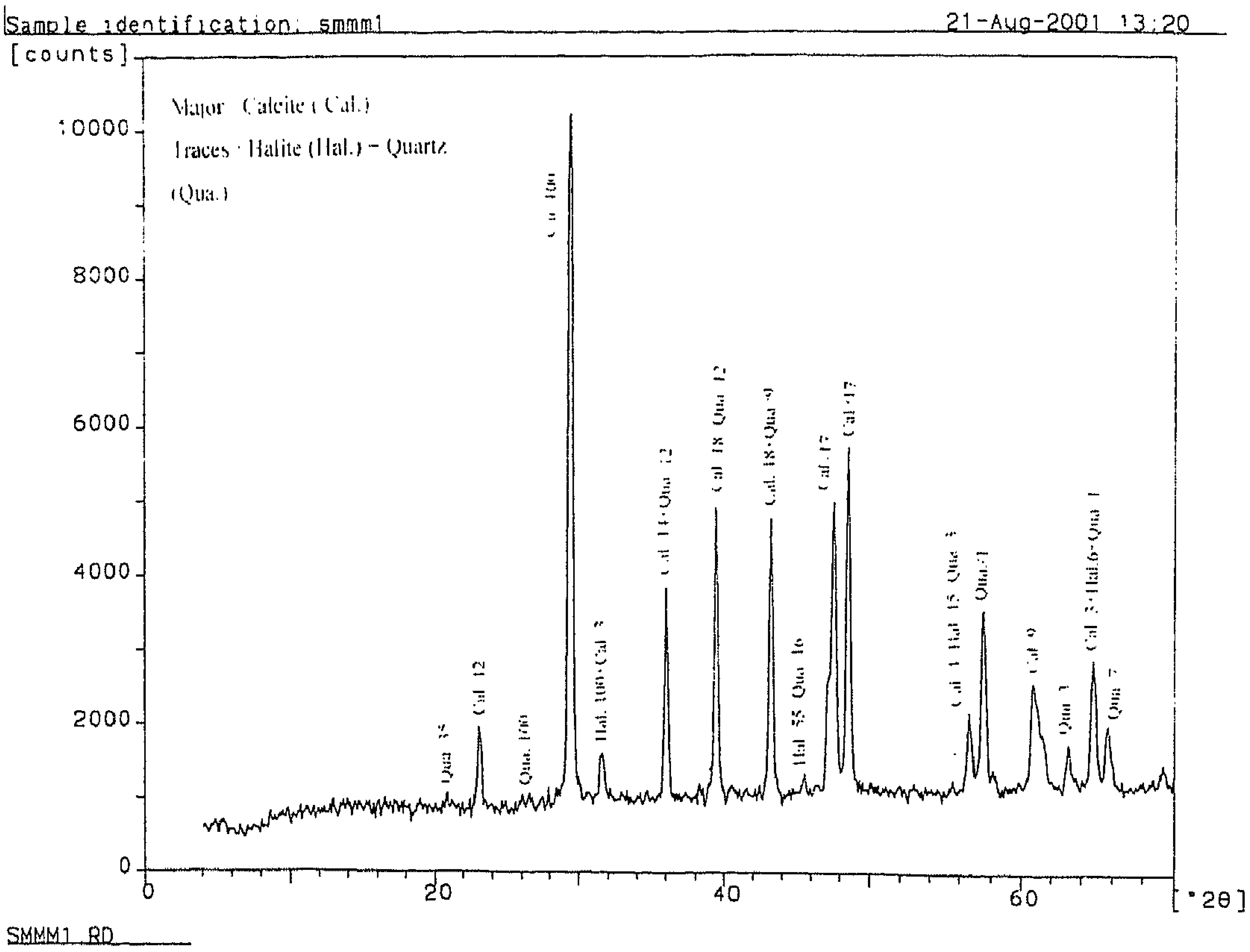
وجد أن هذه العينة تتكون بصفة أساسية من معدن الهاليت NaCl ، رقم الكارت (5-0628) إلى جانب وجود معدن الكالسيت $CaCO_3$ ، رقم الكارت (5-0586) ويتضح من ذلك أن ملح الهاليت وهو من الأملاح القابلة للذوبان في الماء ومن الأملاح الهيجروسكوبية أي الجاذبة للماء يوجد بنسبة كبيرة وذلك من خلال ارتفاعه علي هيئة محاليل ملحية من التربة بالخاصية الشعرية إلى جانب وجود نسبة من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) وهو المكون الرئيسى للحجر الجيرى كما يمكن أن يوجد نتيجة مهاجمة حمض الكربونيك $H_2CO_3$ لمعدن الكالسيت $CaCO_3$ فيتحول إلى بيكربونات الكالسيوم التي تتحول بعد ذلك إلى ملح كربونات الكالسيوم وهو غير قابل للذوبان في الماء ويوجد علي سطح المئذنة ويوضح شكل رقم (٣٥) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.

**العينة رقم (٣)**

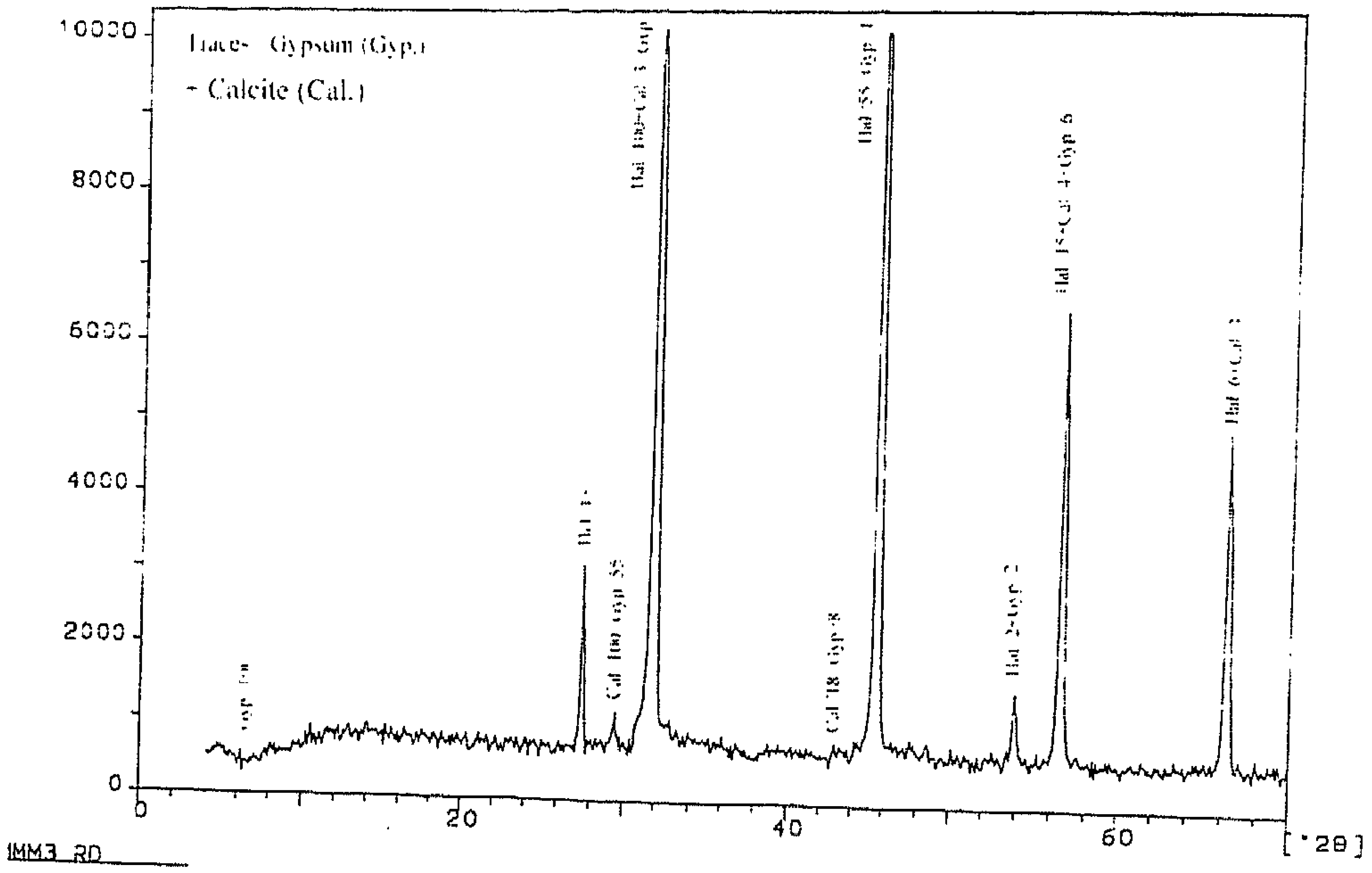
هذه العينة تمثل عينة أملاح من المئذنة وبتحليلها تبين أنها تتكون بشكل أساسي من معدن الهاليت ، رقم الكارت (5-0628) إلى جانب وجود معدن الكالسيت ، برقم كارت (5-0586) ومعدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ ، رقم الكارت (6-0046) ومعدن الجبس وهو يمثل أحد الأملاح غير القابلة للذوبان في الماء نتيجة مهاجمة حمض الكبريتيك $H_2SO_4$ لمعدن الكالسيت وهو المكون الرئيسي للحجر الجيري (مادة بناء المئذنة) ويحوله إلى كبرتيات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$ وهي معدن الجبس ويتكون حمض الكبريتيك بفعل التلوث الجوي بغاز $SO_2$ يتحول فى وجود الأكسجين إلى غاز ثالث أكسيد الكبريت $SO_3$ والذي يتحول في وجود الرطوبة إلى حمض الكبريتيك ويوضح الشكل رقم (٣٦) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.



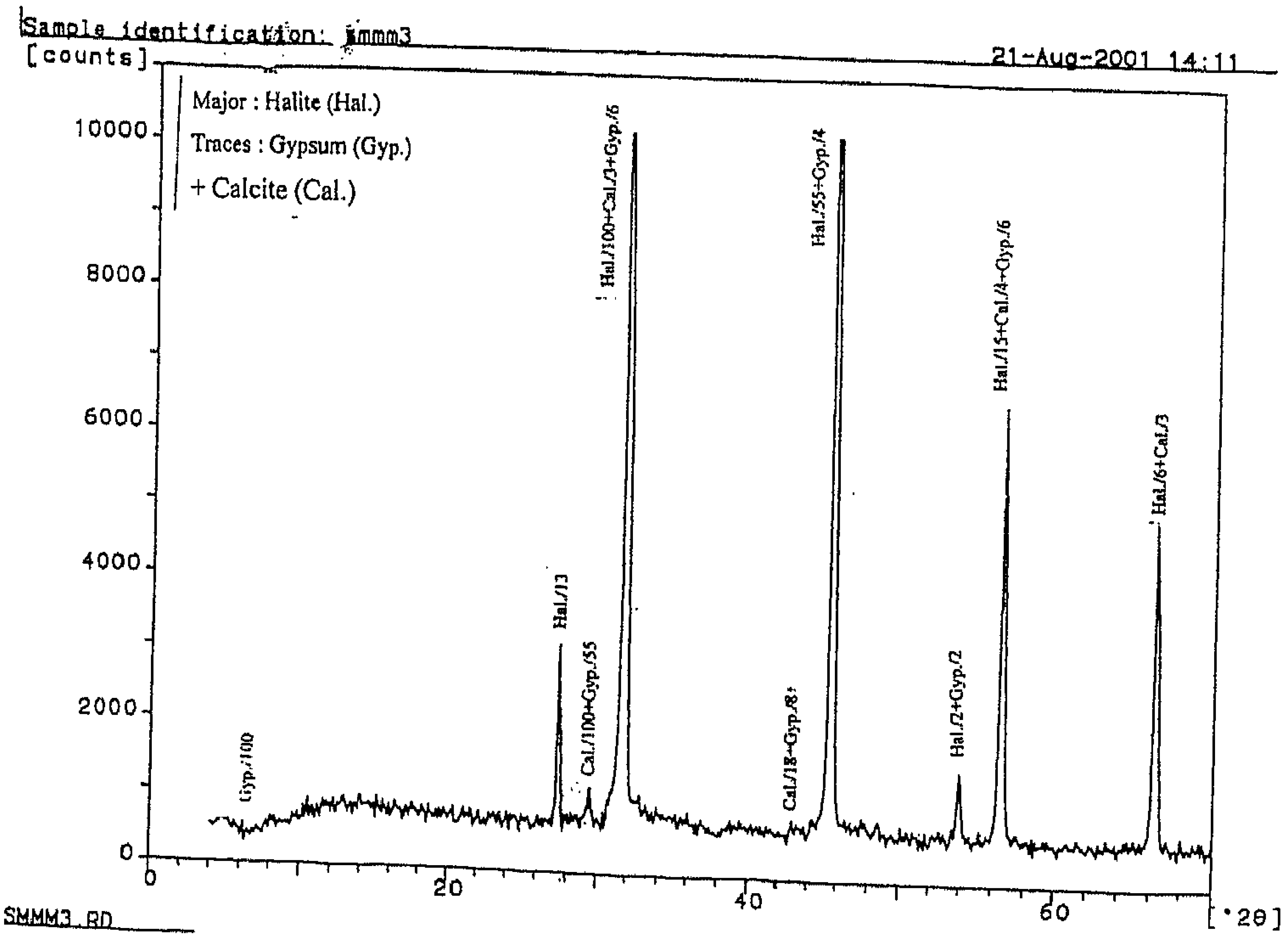

**شكل رقم (٣٣) يوضح نسب العناصر بالعينتين رقمى (١)،(٢) من الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى واللتين تم تحليلها بواسطة استخدام وحدة [ EDX ]**




**شكل رقم (٣٤) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة حجر جيرى من مئذنة يشبك من مهدى**




شكل رقم (٣٥) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة أملاح من مئذنة يشبك من مهدى




شكل رقم (٣٦) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة أملاح أخرى من مئذنة يشبك من مهدى

## العينة رقم (٤)

هذه العينة للمونة التي استخدمت لبناء المئذنة وقد وجد أنها تحتوي بصفة أساسية على معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ برقم كارت (6-0046) ومعدن الانهيدرايت $CaSO_4$ ، رقم الكارت (6-0226) ومعدن الكالسيت $CaCO_3$، رقم الكارت (5-5086) إلى جانب وجود معدن الهاليت NaCl رقم الكارت (5-0628) ومعدن الدولوميت $Ca,Mg(CO_3)_2$ ، رقم الكارت (11-078) بالإضافة لمعدن الكوارتز $SiO_2$ ، رقم الكارت (5-0490) ، ومن خلال ذلك نجد أن مونة بناء مئذنة يشبك من مهدي تكونت من معدن الجبس ومعدن الكالسيت إلى جانب وجود نسبة من معدن الكوارتز (الرمل) بينما يفسر وجود معدن الانهيدرايت بفقدان معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$) للماء فينتج معدن الانهيدرايت (كبريتات الكالسيوم) أما معدن الدولوميت $Ca,Mg(CO_3)_2$ فيفسر وجوده بأن الحجر الجيري الذي اخذ منه معدن الكالسيت هو من نوع الحجر الجيري الدولوميتي مما أدى إلى وجود معدن الدولوميت ضمن مكونات المونة أما معدن الهاليت NaCl فهو يوجد كملح مصدره التربة المقام عليها المئذنة في صورة محاليل ملحية صعدت إلى الجدران بالخاصية الشعرية وتبلورت بين مكونات المونة بفقدان الماء عند ارتفاع درجة الحرارة ويوضح الشكل رقم (٣٧) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.

## العينة رقم (٥)

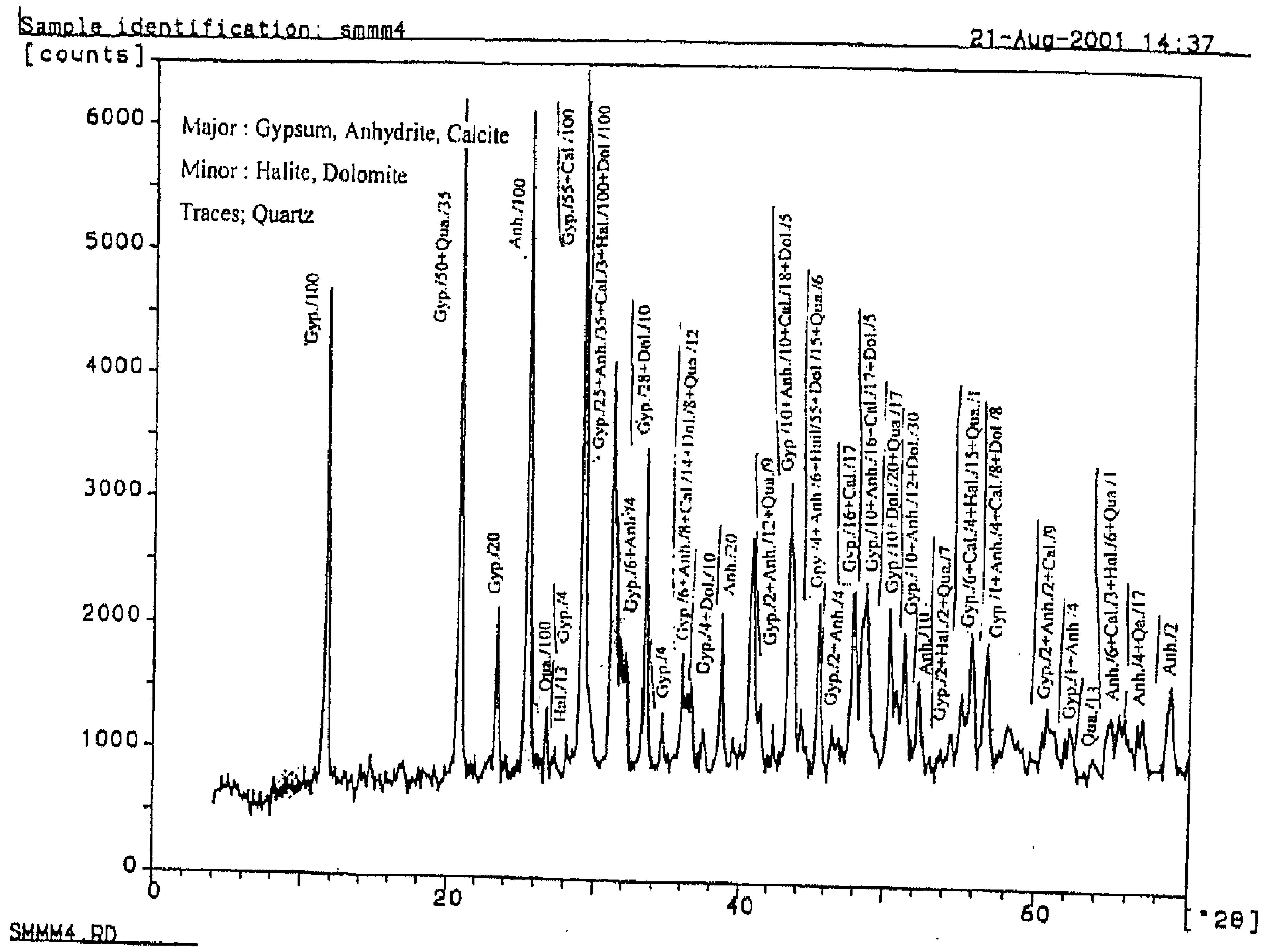
هذه العينة من الحشو الداخلي بين جدران منطقة قاعدة المئذنة المربعة وقد وجد أنها تتكون بشكل أساسي من معدنين هما معدن الكالسيت $CaCO_3$ رقم الكارت (5-0586) ومعدن الكوارتز $SiO_2$ ، رقم الكارت (5-0490) إلى جانب وجود نسبة من معدن الهاليت NaCl ، رقم الكارت (5-0628) كملح ويوضح الشكل رقم (٣٨) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.

## العينة رقم (٦)

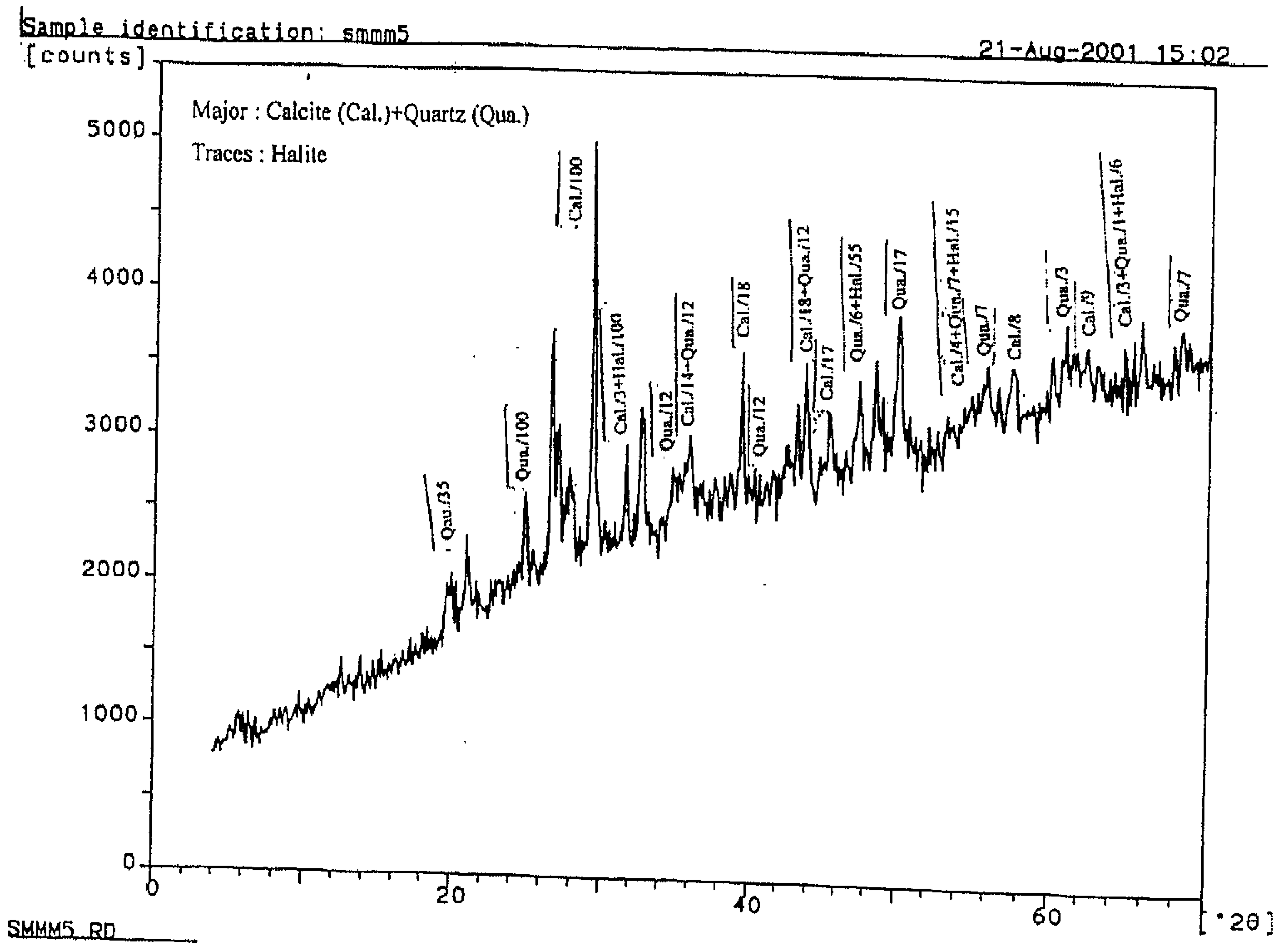
هذه العينة تمثل كسر الحجر الجيري المستخدم مع مادة الحشو الداخلي في منطقة قاعدة المئذنة ووجد أنها تتكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت $CaCO_3$ رقم الكارت (5-0586) إلى جانب وجود نسبة من معدن الكوارتز $SiO_2$ ، رقم الكارت (5-0490) ومعدن الهاليت NaCl ، رقم الكارت (5-0628) ويوضح الشكل رقم (٣٩) نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة.

## نتائج الفحص والدراسة

من خلال الدراسة السابقة والتحليل لمواد بناء المئذنة والأملاح نجد أن المئذنة بنيت من كتل الحجر الجيري المتكون بصفة أساسية من معدن الكالسيت $CaCO_3$ إلى جانب وجود معدن الكوارتز $SiO_2$ كمادة لاحمة بين حبيبات معدن الكالسيت أو كشائبة كما يوجد معدن الهاليت كمظهر من مظاهر التلف ، ويرجع مصدره إلى التربة والمياه الجوفية الموجودة بموقع المئذنة ، أما المونة المستخدمة لبناء المئذنة فهي مكونة أساساً من معدني الجبس $CaSO_2.2H_2O$ والكالسيت $CaCO_3$ إلى جانب نسبة من الكوارتز (الرمل) وهذه هي المكونات الرئيسية للمونة إلى جانب وجود معدن الانهيدرايت المتكون بفعل فقدان معدن الجبس لماء تبلوره




شكل رقم (٣٧) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة مونة بناء مئذنة يشبك من مهدى




شكل رقم (٣٨) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة من مونة الحشو الداخلى بين الأحجار بقاعدة مئذنة يشبك من مهدى

ومعدن الدولوميت الذي يرجع إلى الحجر الجيري المستخدم كمصدر لمعدن الكالسيت المكون للمونة أما معدن الهاليت فمصدره التربة المقام عليها المئذنة والمياة الجوفية الموجودة فى طبقات التربة المقامة عليها المئذنة حيث إتضح من خلال تحليل عينات التربة أن تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة يصل إلى (٥٦٥٠٠) (ppm) وبلغ تركيز انيونات الكلور $Cl^-$ (١٧٧٥٠) (ppm) ، كما بلغ تركيز أنيونات الكبريتات $SO_4^{--}$ (١٣٤٤٠) (ppm) وهى نسبة عالية وتفسر وجود ملح الهاليت وملح الجبس فى العينات التى تمت دراستها من الحجر الجيرى والمونات والأملاح من المئذنة ، أما بالنسبة للمياه الجوفية فقد بلغت النسبة الكلية للأملاح الذائبة فيها (٤٨٢٠) (ppm) ، وبلغت نسبة كلوريد الصوديوم (ملح الهاليت) فيها (٢٢١٠)(ppm) ، كما بلغت نسبة ثالث أكسيد الكبريت (١٢٨٠)(ppm) ، وهذا أيضا يوضح سبب وجود هذه الأملاح فى أحجار المئذنة ، أما عن مادة الحشو الداخلي بقاعدة المئذنة فوجد أنها تتكون بصفة أساسية من معدنين هما الكالسيت $CaCO_3$ والكوارتز $SiO_2$ (الرمل) إلى جانب وجود نسبة من معدن الهاليت ومصدره التربة وتحتوي مادة الحشو الداخلي علي كسر حجر جيري مكون أساسا من معدن الكالسيت إلى جانب وجود نسبة من معدن الكوارتز $SiO_2$ ومعدن الهاليت NaCl ، ويوضح الجدول رقم (٢٢) نتائج تحليل العينات بواسطة حيود الأشعة السينية.

**جدول رقم (٢٢) يوضح نتائج العينات بواسطة طريقة حيود الأشعة السينية**

| No. Of Sample | Kind Of Sample | Major Const. | Traces Const |
|---|---|---|---|
| (1) | Limestone | Calcite ($CaCO_3$) | Halite (NaCl)<br>Quartz ($SiO_2$) |
| (2) | Salt | Halite (NaCl) | Calcite ($CaCO_3$) |
| (3) | Salt | Halite (NaCl) | Calcite ($CaCO_3$)<br>Gypsum ($CaSO_4.2H_2O$) |
| (4) | Mortar | Gypsum ($CaSO_4.2H_2O$)<br>Anhydrite ($CaSO_4$)<br>Calcite ($CaCO_3$) | Halite (NaCl)<br>D lomite Ca,Mg$(CO_3)_2$<br>Quartz ($SiO_2$) |
| (5) | Filler | Calcite ($CaCO_3$)<br>Quartz | Halite (NaCl) |
| (6) | Limestone Including filler | Calcite ($CaCO_3$) | Quartz ($SiO_2$)<br>Halite (NaCl) |

## تاسعا : تعيين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد بناء المئذنة

تؤثر الخواص الفيزيائية والميكانيكية إلى حد كبير فى مدى مقاومة مواد البناء لعوامل التلف المختلفة ولذلك يجب تحديد وتعيين هذه الخواص من خلال دراسات تقييم الوضع الراهن للمئذنة وأيضا لأخذ هذه الخواص فى الاعتبار عند وضع خطة علاج وترميم وصيانة المئذنة واختيار المواد والطرق المناسبة للترميم وفيما يلى نتائج قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد بناء المئذنة .

### ١ـ تعيين الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى

يتم تعيين الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى والمتمثلة فى الكثافة الكلية Bulk Density وامتصاص الماء Water Absorption والمسامية Porosity وتم تسجيل النتائج كما

يتضح من الجدول رقم (٢٣) حيث سجلت الكثافة الكلية قيمة متوسطة مقدارها ٢,١٤ جم/سم٣ كما سجلت المسامية قيمة مقدارها ١٩,٤٨% كقيمة متوسطة أما امتصاص الماء فسجل قيمة متوسطة مقدارها ٩,١٨% وتشير هذه النتائج إلى ارتفاع نسبة امتصاص الماء والمسامية مما أدى إلى تعرض كتل الأحجار للمئذنة إلى التلف بفعل عوامل التلف المختلفة وخاصة فى كتل الأحجار بقاعدة المئذنة .

**جدول رقم (٢٣) يوضح قيم الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى**

| رقم العينة | الكثافة الكلية جم/سم٣ | المتوسط | امتصاص الماء % | المتوسط | المسامية % | المتوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢,١٠ | ٢,١٤ | ٩,١٢ | ٩,١٨ | ١٩,١٤ | ١٩,٤٨ |
| ٢ | ٢,١٤ | | ٩,٠١ | | ١٩,٣١ | |
| ٣ | ٢,١٨ | | ٩,٢٢ | | ١٩,٩٢ | |
| ٤ | ٢,٠٩ | | ٩,٤٣ | | ١٩.٨٣ | |
| ٥ | ٢,١٧ | | ٩,١٤ | | ١٩,٢١ | |

## ٢- تعيين الخواص الميكانيكية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى

تم تعيين الخواص الميكانيكية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى حيث تم قياس كل من قوة تحمل الضغط Compressive Strength وقوة تحمل الشد Tensile Strength وقد سجلت قوة تحمل الضغط قيمة متوسطة مقدارها ٢٧٠ كجم /سم٢ كما سجلت قوة تحمل الشد قيمة متوسطة مقدارها ٢٤ كجم / سم٢ ويوضح الجدول رقم (٢٤) نتائج قياس قوة تحمل الضغط والشد للأحجار بمئذنة يشبك من مهدى .

**جدول رقم (٢٤) يوضح قيم قوتى تحمل الضغط والشد للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى**

| رقم العينة | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | المتوسط | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | المتوسط |
|---|---|---|---|---|
| ١ | ٢٦٩ | ٢٧٠ | ٢٤ | ٢٤ |
| ٢ | ٢٦٥ | | ٢١ | |
| ٣ | ٢٧٢ | | ٢٦ | |
| ٤ | ٢٦٨ | | ٢٢ | |
| ٥ | ٢٧٦ | | ٢٧ | |

## ٣- قياس محتوى الرطوبة بالحجر الجيرى للمئذنة

تم إجراء الاختبار على عينات من الحجر الجيرى بالمئذنة من مستوياتها المختلفة سواء القريبة من سطح الأرض أو الأجزاء المطمورة أسفل طبقات الردم أو الأجزاء العليا من المئذنة والبعيدة إلى حد ما عن المياه الأرضية الموجودة فى التربة كمصدر من مصادر الرطوبة وقد تم إجراء الاختبار على العينات بوزنها

بحالتها الطبيعية بعد أخذها فى أكياس من البولى إيثيلين من الموقع وتسجيل الوزن الراهن مباشرة ثم إعادة وزنها مرة أخرى بعد تجفيفها فى فرن تجفيف درجة حرارته ١٠٥ م° لمدة ٢٤ ساعة ، وقد أعطت العينات المطمورة أسفل طبقات الردم قيمة مقدارها ٧,٨ % أما الأجزاء السفلى والتى تعلو سطح الأرض مباشرة فأعطت قيمة مقدارها ٧% أما قاعدة المئذنة فسجلت قيمة مقدارها ٢,٤% أما الأجزاء العليا فى المستويات الأخرى من المئذنة حتى نهايتها فأعطت قيمة مقدارها ٠,٤% ، ويشير ذلك إلى وجود محتوى رطوبة مرتفع بالتربة وخاصة فى الطبقات الملاصقة للكتل الحجرية بقاعدة المئذنة مما أدى إلى تلفها وتأكلها ، ويوضح الجدول رقم (٢٥) قيم محتوى الرطوبة للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى .

**جدول رقم (٢٥) يوضح قيم محتوى الرطوبة للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى**

| رقم العينة | مكان العينة | محتوى الرطوبة (%) |
|---|---|---|
| ١ | أسفل طبقات الردم | ٧,٨ |
| ٢ | فوق سطح الأرض مباشراً | ٧ |
| ٣ | منطقة قاعدة المئذنة | ٠,٤ |
| ٤ | المستوى فوق قاعدة المئذنة | ٢.٤ |

## عاشراً : الدراسة الميكروبيولوجية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى

نجد من خلال فحص الكتل الحجرية للمئذنة أنه لا توجد إصابات ميكروبيولوجية فى المداميك الحجرية الظاهرة على سطح الأرض من المئذنة ولكن هناك احتكاك مباشر بين التربة ومداميك الأحجار المغطاة بتربة الردم وهذه التربة قد تكون مصدر للتلف ويؤثر على هذه المداميك المختفية اسفل التربة وكذلك أساسات المئذنة ، ولذلك تم كشف بعض هذه المداميك المطمورة فى التربة وأخذت منها عينات بواسطة معلقة معقمة وضعت فى عبوات زجاجية معقمة وتم نقلها مباشرة إلى المعمل حيث بدا العمل فيها على الفور .

### أ ـ البيئات المستخدمة فى عزل الكائنات الحية الدقيقة

### (١) بيئة عزل البكتريا

تم استخدام بيئة آجار مستخلص التربة لعزل البكتريا وتتركب من

- آجار آجار ١٥ جم    - جلوكوز ١ جم
- فوسفات البوتاسيوم ثنائى القاعدية ٠,٥ جم $K_2HPO_4$
- مستخلص التربة ١٠٠سم٣ ، ماء صنبور ٩٠٠سم٣
- الرقم الهيدروجينى للبيئة (PH) = ٦,٨ .

**تحضير البيئة**

تم تحضير البيئة بإضافة لتر ماء من الصنبور إلى ١ كجم من التربة المأخوذة من الأثر ، ثم تم تسخينها فى أوتوكلاف للتعقيم لمدة ٠,٥ ساعة ثم أضيف إلى معلق التربة كمية صغيرة من كربونات الكالسيوم ثم تم

الترشيح فى مرشح بخنر باستعمال ورقتى ترشيح وتم تكرار ذلك حتى الحصول على مرشح رائق يعبأ بعد ذلك المستخلص فى عبوات زجاجية ويعقم لحين استعمالها.

### (٢) بيئة عزل الفطريات

تم استخدام بيئة مارتن لعزل الفطريات وتتركب من

- جلوكوز ١٠ جم  - بيتون Peptone ٥ جم
- كبريتات الماغنسيوم المائية $MgSO_4.7H_2O$ ٠,٥ جم
- محلول استربتومايين ٠,٣ سم٣ / ١٠٠ سم٣ من البيئة .
- لتر من الماء المقطر .

### ب ــ عزل البكتريا والفطريات بطريقة التخفيف

- تم تنمية العينات على البيئات التى تم تحضيرها وقد تم تخفيف العينات عدة مرات فى محلول فسيولوجى معقم بحيث تظهر فى الأطباق مجاميع غير كثيفة منعزلة ناتج كل منها من خلية واحدة وبذلك نستطيع الحصول على مجاميع من البكتريا والفطريات يتم تنقيتها باستخدام طريقة الأطباق المخطوطة حتى يمكن دراسة الخواص المورفولوجية والمزرعية لها وتم ذلك كالتالى :
- تم تقسيم المجاميع المعزولة مصورة نقية إلى بكتريا وفطريات بناء على الخواص المزرعية للمجموعة الميكروبية ثم تم نقل وحفظ المزارع على آجار مائل داخل أنابيب معمقة حيث تم دراسة الصفات المورفولوجية للمزارع البكترية المعزولة بالصبغة البسيطة وصبغة جرام لمعرفة أشكال البكتريا المعزولة وقابليتها للعزل بطريقة جرام وقد تم التعرف على شكل واحد للبكتريا وهى بكتريا ذات شكل كروى Cocci Bacteria وهى متجمعة فى رباعيات مع بعضها البعض وهى موجبة لصبغة جرام كما يتضح من الصورة رقم (٨٩) .
- كما تم دراسة الصفات المورفولوجية للمزارع الفطرية المعزولة بتحميل الفطر على شرائح زجاجية وفحصها ثم تصنيفها وقد أمكن التعرف على نوعين من الفطريات هما فطر الاسبيرجيللس <u>Aspergillus Sp.</u> ، صورة رقم (٩٠) وفطر البنسيليوم <u>Pencillium Sp.</u> تم تصنيفهما فى الجدول رقم (٢٦)

**جدول رقم (٢٦) يوضح تصنيف الفطريات التى تم التعرف عليها بموقع مئذنة يشبك من مهدى**

| | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Division | Eumycota | Eumycota |
| Class | Ascomycetes | Ascomycetes |
| Order | Aspergillales | Aspergillales |
| Family | Aspergillaceae | Aspergillaceae |
| Genus | <u>Aspergillus Sp.</u> | <u>Pencillium Sp.</u> |

### جـ ــ العد الكلى للبكتريا والفطريات والخمائر

تم إجراء العد الكلى للفطريات والخمائر والبكتريا فى العينات التى تم أخذها من المئذنة وكانت النتائج كالتالى:

العد الكلى للفطريات والخمائر = ١٢×١٠ ٣ خلية / جرام .

العد الكلى للبكتريا = ٩٨ × ١٠ ٤ خلية / جرام .

ويتضح مما سبق وجود الفطريات والبكتريا فى التربة الحاملة للمئذنة ومع وجود الظروف الملائمة لنموها من ضوء ورطوبة وأكسجين ومصدر للغذاء من المحتمل أن تتكاثر أعدادها عن الأعداد الموجودة وتتسبب في إتلاف الأثر عن طريق الأحماض التى تفرزها ومهاجمتها لمكونات الأحجار ولذلك لابد من العمل على وقاية وصيانة المئذنة منها .

## حادى عشر : دراسات التربة ورصد منسوب المياه الجوفية والكشف علي الأساسات

تم إجراء الدراسات والأبحاث الخاصة بالتربة المقام عليها مئذنة يشبك من مهدي وكذلك رصد منسوب المياه الجوفية والكشف علي اساسات المئذنة حيث تم تنفيذ جسات بالموقع وإجراء فحوص واختبارات علي العينات المستخرجة لتحديد تتابع طبقات التربة وخصائصها الطبيعية والميكانيكية ، كما تم رصد منسوب المياه الجوفية أثناء تنفيذ الجسات وتركيب بيزومتر بأحد الجسات لقياس منسوب المياه الجوفية وتذبذبها مع الوقت بالإضافة لذلك تم عمل حفر استكشافية للكشف علي اساسات المئذنة وبيان حالتها ونوعها ومنسوب التأسيس وقد تم ذلك كالتالي:-

### (١) دراسات التربة

#### أ - أعمال الجسات والاختبارات المعملية

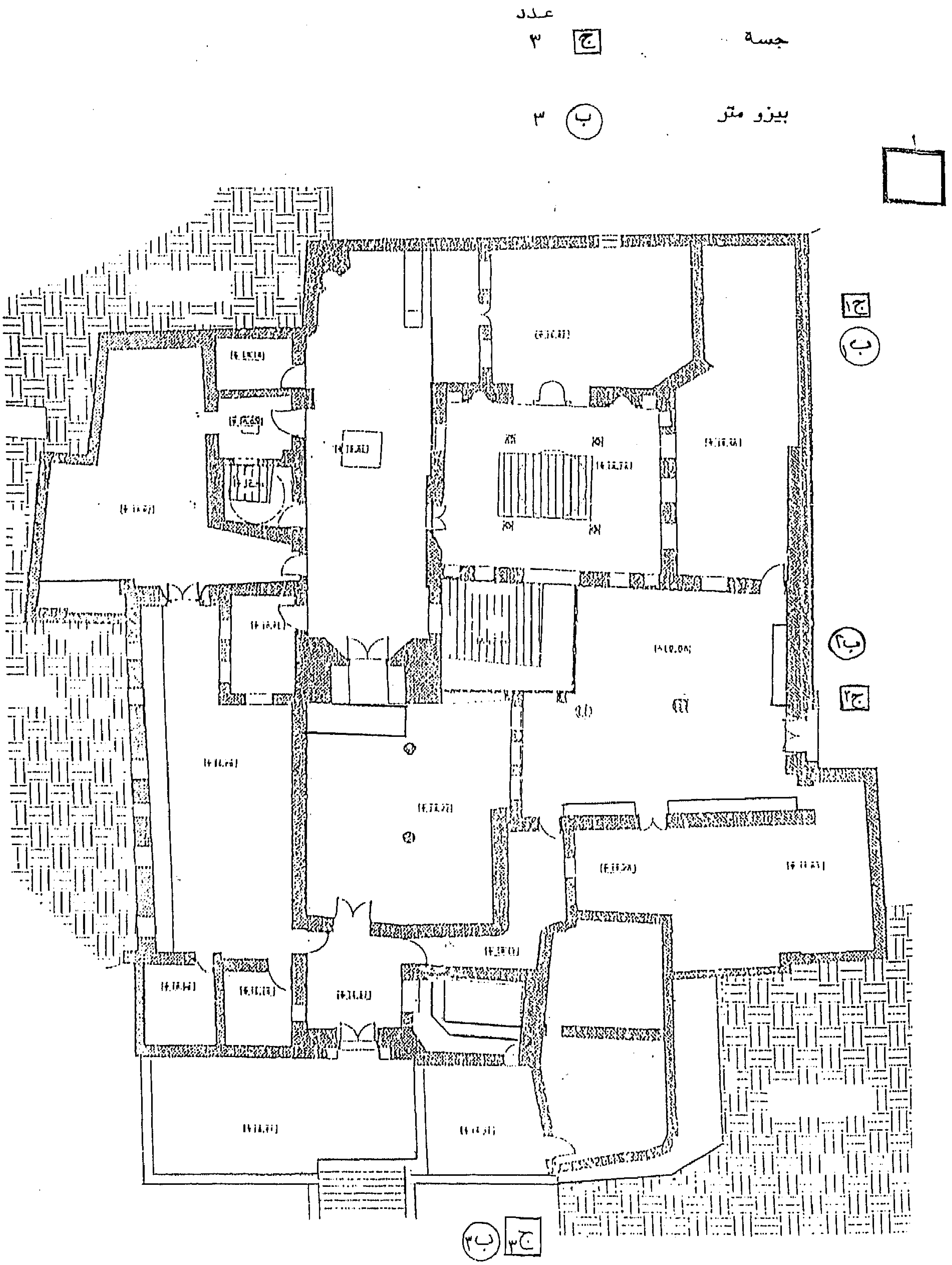
تم عمل ثلاثة جسات ميكانيكية* بالأماكن المبينة بالشكل رقم (٤٠) وذلك بعمق ١٥ متر من سطح الأرض ، واستخرجت عينات التربة كل متر طولي من الجسات أو عند حدوث تغير ملحوظ في طبيعة التربة واستخرجت عينات التربة غير المتماسكة بصورة مقلقلة بينما استخرجت العينات الصخرية علي شكل كور أسطواني كما تم رصد منسوب المياه الجوفية وتم استخراج عينة منها لتحليلها كيميائيا.

#### ب - طبيعة التربة وتتابع طبقاتها بموقع المئذنة

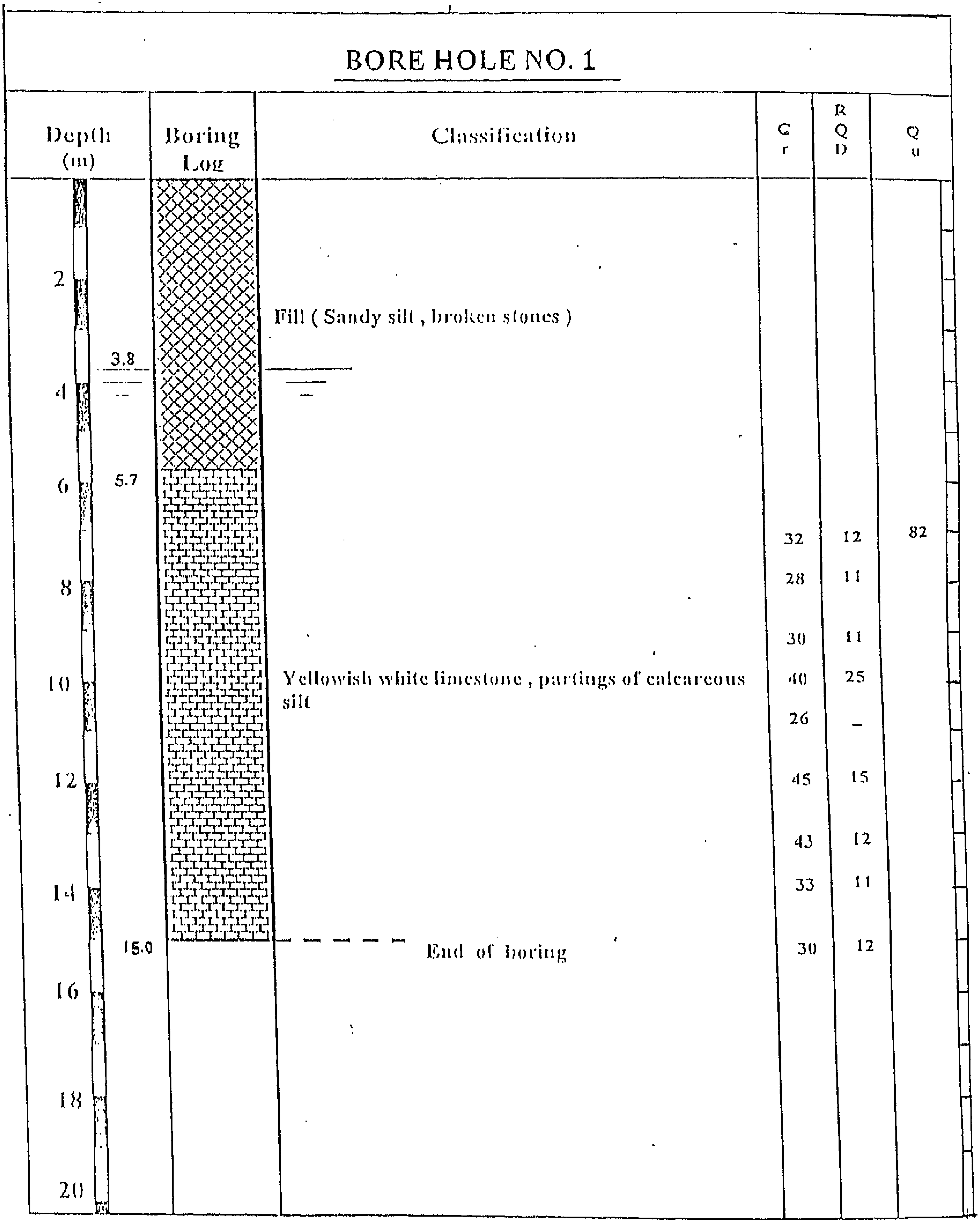
بدراسة قطاعات الجسات المنفذة بموقع المئذنة وهي مبينة بالأشكال أرقام (٤١)،(٤٢)،(٤٣) اتضح أن التربة بهذا الموقع تتكون من طبقة علوية من الردم (طمي رملي جيري وكسر حجر) تستمر من منسوب صفر الجسات وحتى عمق يتراوح بين ٥,٤ متر ، ٥,٧ متر ، ثم تظهر طبقة من الحجر الجيري المحتوي علي فواصل من طمي جيري حيث تمتد هذه التكوينات الصخرية حتى نهاية الجسات علي عمق ١٥ متر من منسوب الأرض الطبيعية بمواقع الجسات وقد ظهرت المياه الجوفية بالجسات حيث استقرت بعد ٢٤ ساعة علي عمق ٣,٨ متر من سطح الأرض الطبيعية بموقع الجسات (١)،(٢) وعلي عمق ٣,٢ بموقع الجسة رقم (٣) ، ويدل ذلك على أن المياه الجوفية قريبة إلى حداً ما من أساسات المئذنة التى يبلغ عمقها ٣,٣متر من سطح الأرض وبعد إجراء أعمال الفحص للعينات المستخرجة تم إجراء الاختبارات المعملية الآتية علي عينات ممثلة لطبقات التربة.

---

* أجريت هذه الدراسة بواسطة قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار

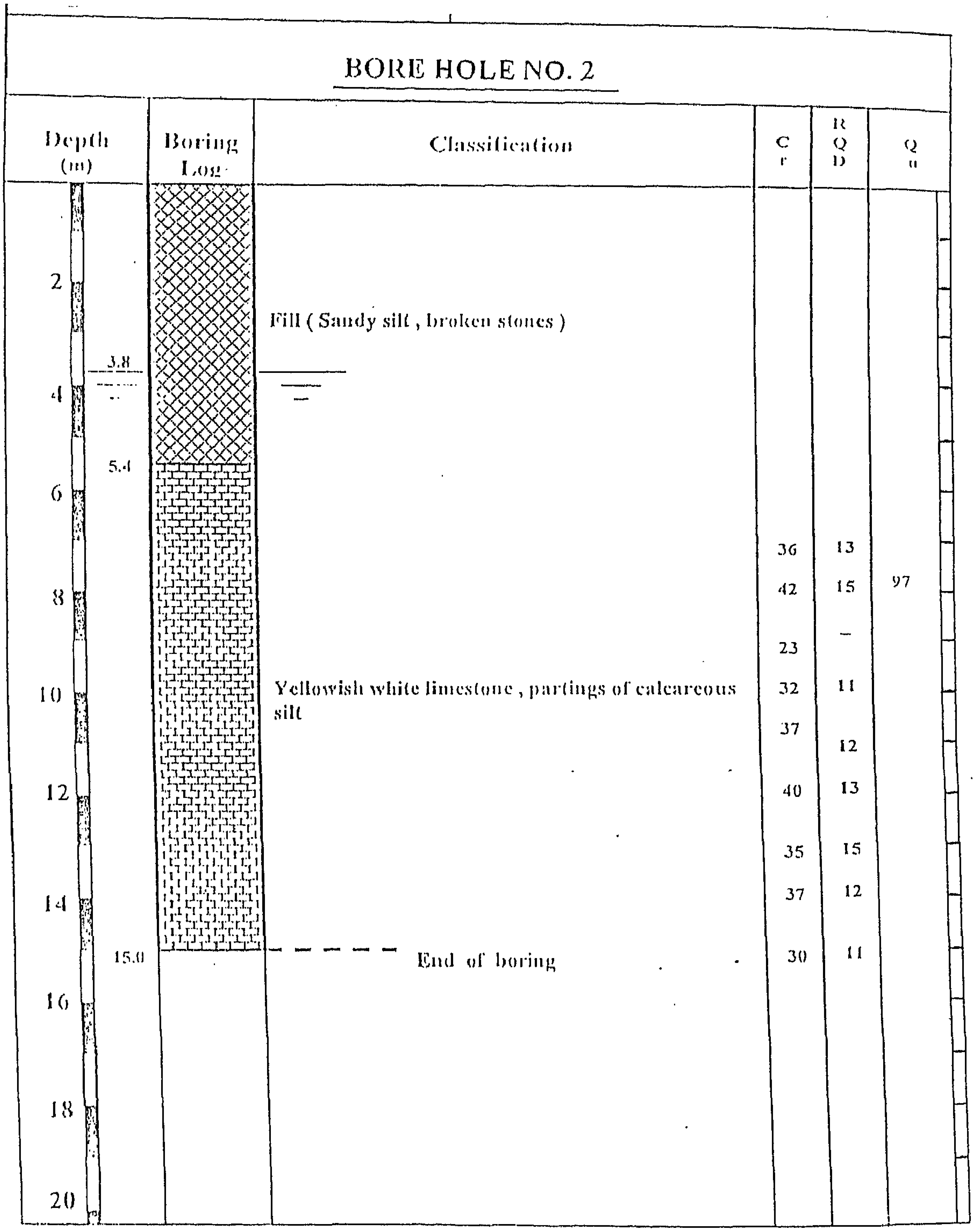



شكل رقم (٤٠) يوضح أماكن البيزومترات والجسات الثلاثة بموقع مئذنة يشبك من مهدى بعمق ١٥ متراً لكل جسة ( عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار )

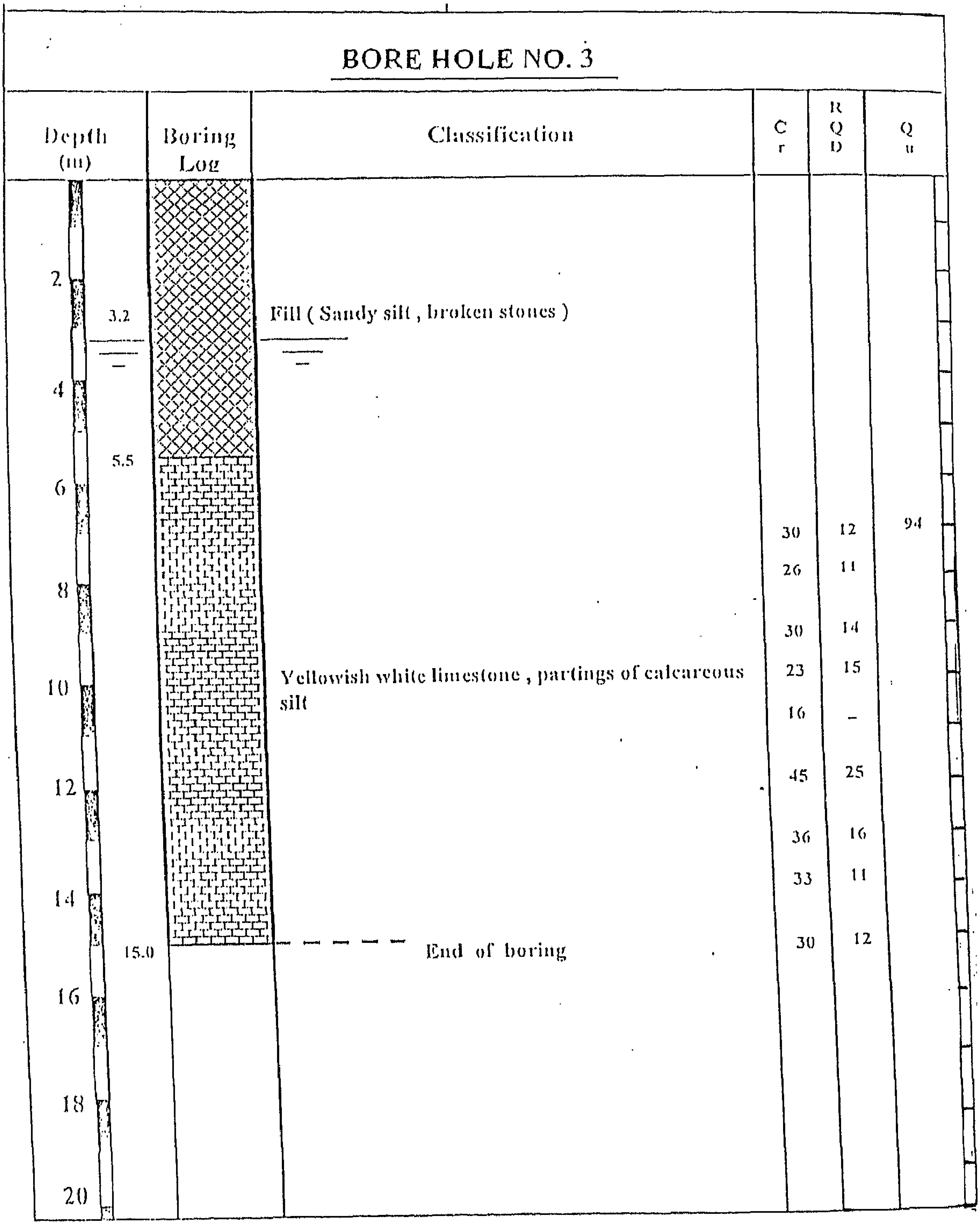



شكل رقم (٤١) يوضح قطاع التربة بالجسة رقم (١)

( عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار).




شكل رقم (٤٢) يوضح قطاع التربة بالجسة رقم (٢)
( عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار)




شكل رقم (٤٣) يوضح قطاع التربة بالجسة رقم (٣)

( عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار)

**١ ـ تعيين جهد الكسر ( $C_r$)**

وذلك لتعيين جهد الكسر للعينات الصخرية ، والنتائج مدونة علي قطاعات الجسات بالأشكال أرقام (٤١)،(٤٢)،(٤٣) .

**٢ ـ تعيين نسب الاستخلاص (RQD )**

وذلك بقياس أطوال العينات المستخرجة علي شكل كور أسطواني سليم بالنسبة للطولي الكلي الحفور لتعيين نسب الاستخلاص للتكوينات الصخرية والنتائج أيضا مدونة علي قطاعات الجسات.

**٣ ـ تعيين معامل جودة الصخور (Qu )**

تم ذلك بقياس أطوال العينات الأسطوانية السليمة التي تزيد أطوالها عن ١٠ سم لتعيين معامل جودة الصخور والنتائج أيضا مدونة علي قطاعات الجسات[١].

**(٢) قياس منسوب المياه الجوفية في موقع المئذنة بالبيزومترات**

تم تنفيذ بيزومتر داخل كل جسه لرصد منسوب المياه الجوفية* عن طريق إنزال ماسورة بلاستيكية قطر ٢ بوصة وبطول ٦ متر بها جزء سفلي مثقب بطول ٥٠ سم وتم وضع فلتر زلطي حول الجزء المثقب وتم تثبيت الماسورة بعمل بلوك من الخرسانة اعلي الماسورة عند سطح الأرض وعمل غطاء من الحديد اعلي ماسورة البيزومتر وقد تم قياس منسوب المياه الجوفية داخل البيزومتر علي مدي أسبوع من تاريخ التنفيذ حيث تبين ثبات المنسوب عند عمق ٣,٨ متر من منسوب الأرض الطبيعية بموقع البيزومترين رقم (١) ورقم (٢) وعند عمق ٣,٢ متر من منسوب الأرض الطبيعية بموقع البيزومتر رقم (٣).

**(٣) الكشف علي اساسات المئذنة**

تم عمل حفرة للكشف علي اساسات المئذنة حيث تبين امتداد الجدار الحامل للمئذنة حتى عمق ٣,٣ من منسوب الأرض الطبيعية وبنفس سمك الحائط الحجري اعلي سطح الأرض وبذلك يتضح أن اساسات المئذنة عبارة عن حوائط حاملة من الحجر الجيري بنفس سمك جدران المئذنة وقد أدى عمق أساسات المئذنة إلى استقرارها وإتزانها الإنشائى إلى حداً كبير كما ساهم الممر النافذ ذو السقف المقبى والموجود بقاعدة المئذنة فى التوزيع المنتظم للأحمال الواقعة من المئذنة على التربة الحاملة لها[٢] .

**(٤) التحليل الكيميائي للمياه الجوفية بموقع المئذنة**

عند عمل الجسات الميكانيكية وظهور المياه الجوفية تم اخذ عينة منها وتحليلها لتحديد مكوناتها من الأملاح ودرجة PH لها والنتائج موضحة بالجدول رقم (٢٧) وقد اتضح منها ارتفاع نسبة وجود ملح الهاليت (كلوريد الصوديوم NaCl) بالعينة مما يفسر وجود هذا الملح علي الجدران الحجرية للمئذنة مما أدى إلى إتلافها للأحجار.

---

(١) قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار

* قام بعمل البيزومترات قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار

(٢) قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار

جدول رقم (٢٧) يوضح نتائج التحليل الكيميائى للمياه الجوفية بموقع مئذنة يشبك من مهدى

| No. | Chemical Compound | Molecular Form- ULA | Result (ppm) |
|---|---|---|---|
| 1 | Total Mineral Soluble Salts | Ionized Salts | 4820 |
| 2 | Sodium Bicarbonate | $NaHCO_3$ | 935 |
| 3 | Sodium Chloride | NaCl | 2210 |
| 4 | Sulpher tri Oxide | $SO_3$ | 1280 |
| 5 | PH Value | $\text{Log}\left(\frac{1}{H^+}\right)$ | 9.6 |

(عن قطاع المشروعات بالمجلس الأعلى للآثار)

## (٥) دراسة طبيعة وخواص التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى

تعتبر مئذنة يشبك من مهدى مثل الكثير من المبانى الآثرية الإسلامية المقامة على طبقات من الـردم التـى تختلف مكوناتها وخواصها من طبقة إلى أخرى ويؤدى ذلك إلى التأثير على السلوك الإنشائى لها وعلى إتزان وثبات المبانى والمنشآت المقامة عليها ولذلك قام الباحث بعمل دراسة لقطاع التربة بمئذنة يشبك مـن مـهدى لدراسة طبيعة وخواص التربة الحاملة لها حيث تم عمل جستين بموقع المئذنة بعمق ثلاثة أمتار* لكل جسـة كما يتضح من الصورتين رقمى (٩١)،(٩٢) وذلك كما يلى :

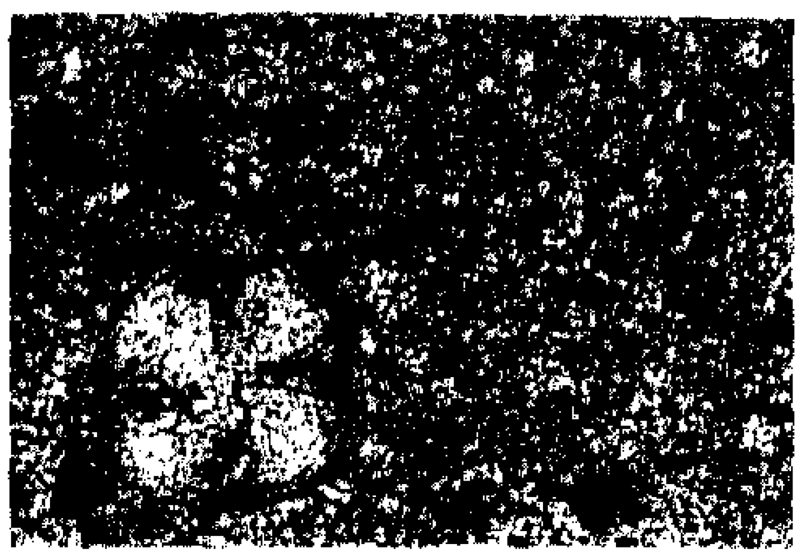
### أولاً : قطاع التربة رقم (١)

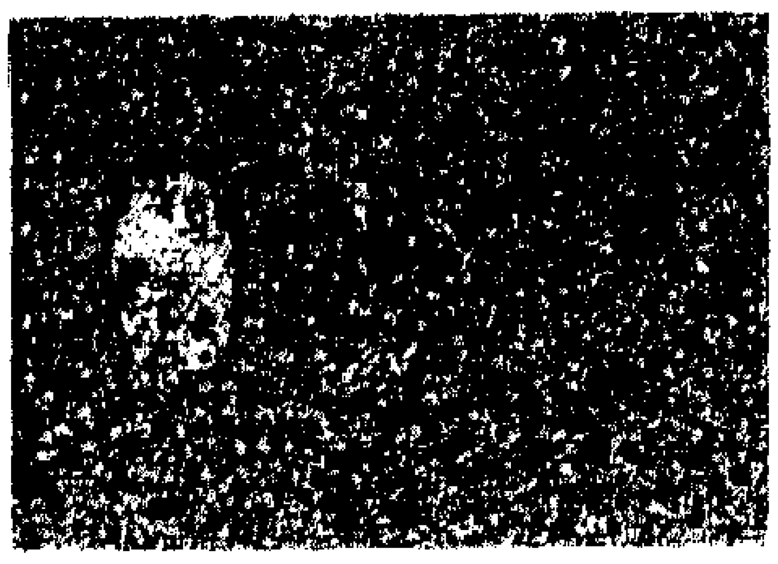
تم أخذ القطاع بعمق ثلاثة أمتار وتم تجميع تسعه عينات طبقاً للاختلافات فى التربة حيث كان يتم أخذ عينـه كلما اختلفت التربة وتنوعت خلال القطاع و يتضح ذلك من خلال الجدول رقم (٢٨)

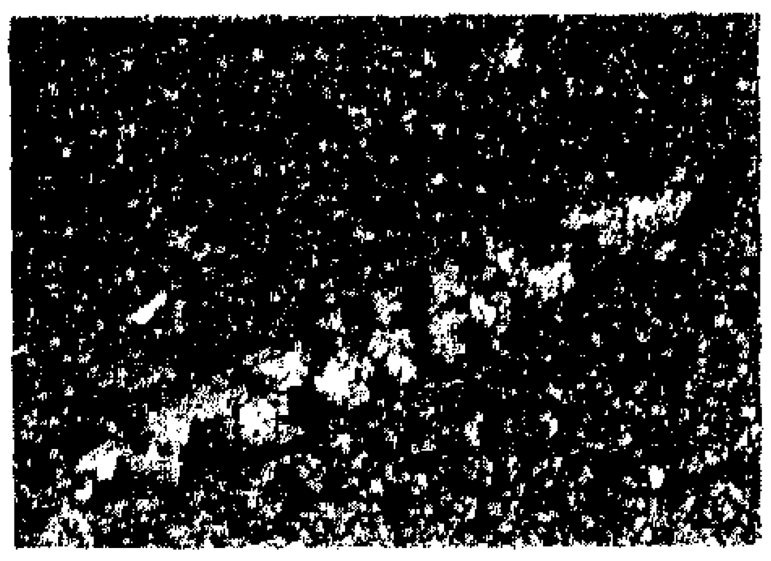
جدول رقم (٢٨) يوضح عمق العينات بقطاع التربة رقم (١)

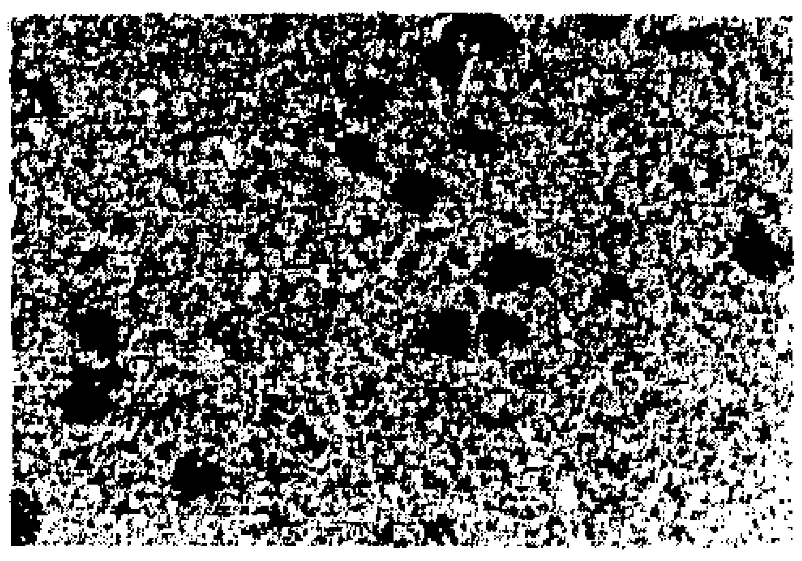
| رقم العينة | العمق | رقم العينة | العمق |
|---|---|---|---|
| (١) | من سطح الأرض حتى عمق ٢٠سم من القطاع | (٦) | من عمق ١٥٠ سم حتى عمق ١٨٠سم |
| (٢) | من عمق ٢٠سم حتى عمق ٤٠ سم | (٧) | من عمق ١٨٠سم حتى عمق ٢٠٠سم |
| (٣) | من عمق ٤٠ سم حتى عمق ٧٠سم | (٨) | من عمق ٢٠٠سم حتى عمق ٢٤٠سم |
| (٤) | من عمق ٧٠سم حتى عمق ١١٠سم | (٩) | من عمق ٢٤٠ سم حتى عمق ٣٠٠سم |
| (٥) | من عمق ١١٠سم حتى عمق ١٥٠ سم | | |

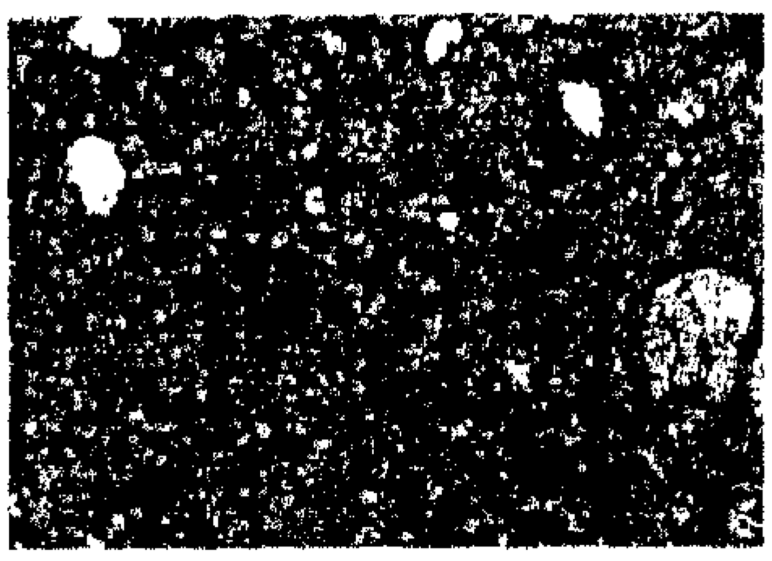
* قام الباحث بإجراء هاتين الجستين بموقع المئذنة خلال عام ٢٠٠٢ م


صورة رقم (٧٧)

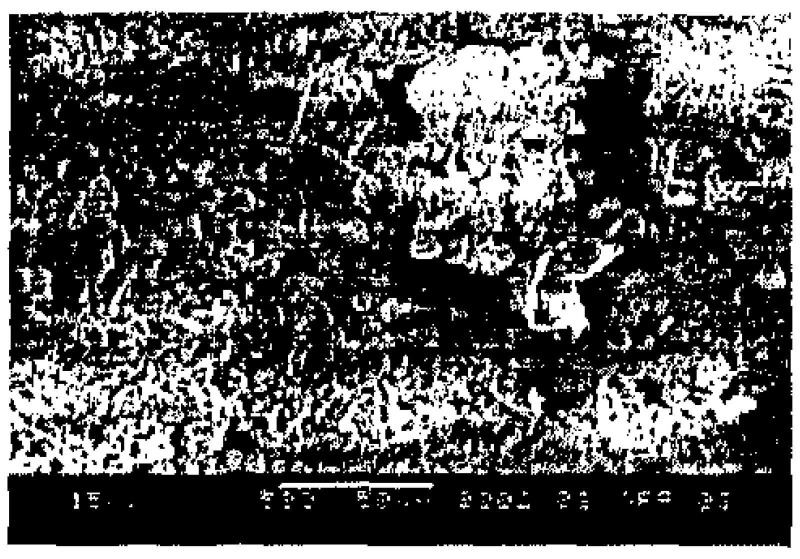

صورة رقم (٧٨)

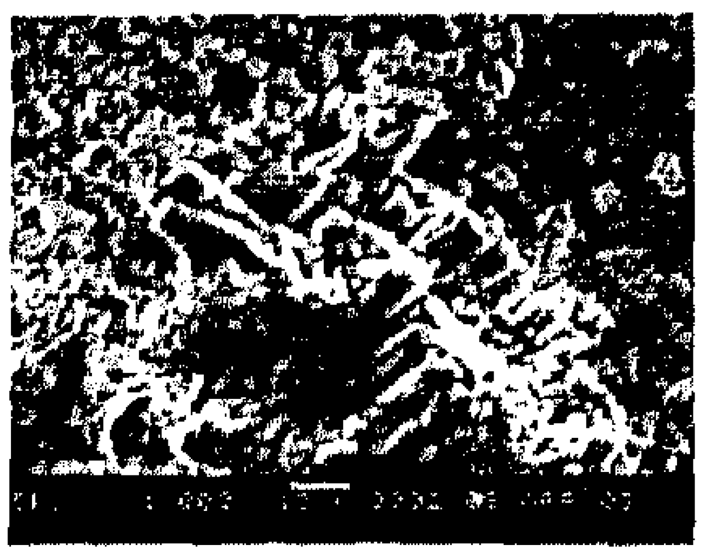

صورة رقم (٧٩)


صورة رقم (٨٠)


صورة رقم (٨١)

صورة رقم (٨٢)

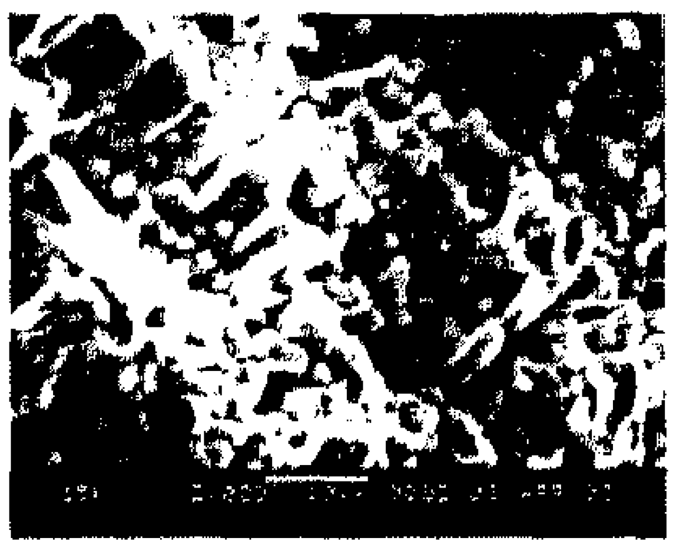

صورة رقم (٨٣)

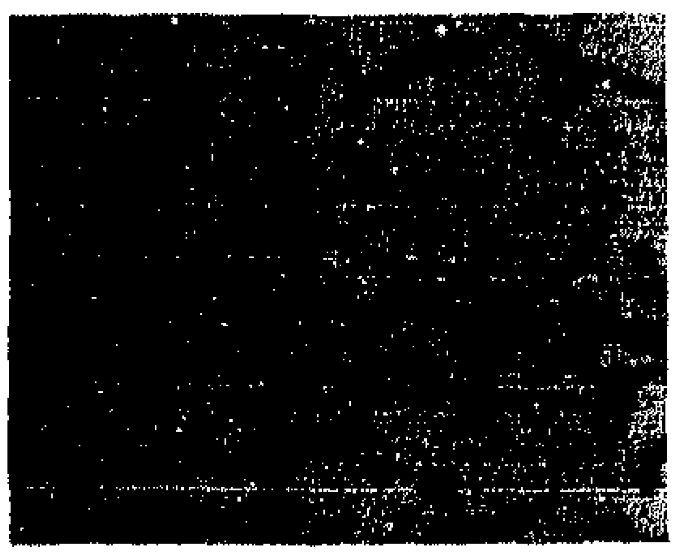

صورة رقم (٨٤)

صورة رقم (٨٥)

صورة رقم (٨٦)

صورة رقم (٨٧)


صورة رقم (٨٨)


صورة رقم (٨٩)

صورة رقم (٩٠)

صورة رقم (٩١)

صورة رقم (٩٢)

الصور من رقم (٧٧) إلى رقم (٧٨) توضح القطاع رقم (٥) ونجد فيها تجمعات من أكاسيد الحديد والمعادن الطينية وحفريات الدهاليت إلى جانب بعض حبيبات معدن الكوارتز .

الصور من رقم (٧٩) إلى رقم (٨٢) توضح القطاع رقم (٦) وبه نفس المكونات السابقة .

الصور من رقم (٨٣) إلى رقم (٨٨) توضح فحص بواسطة [SEM] للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى ويتضح فيها وجود فجوات وشروخ وفقدان للمادة الرابطة بين بلورات الكالسيت نتيجة عوامل التلف المختلفة .

( عمل الباحث )

الصورة رقم (٨٩) توضح البكتريا كروية الشكل الصورة رقم (٩٠) توضح فطر الاسبيرجيللس

الصورتان رقمى (٩١) ، (٩٢) توضح أخذ جسه من التربة المقام عليها مئذنة يشبك من مهدى بواسطة الأوجر اليدوى .

## ثانياً : قطاع التربة رقم (٢)

تم أخذ هذا القطاع خلال تنفيذ الجسة رقم (٢) كما بالصورة رقم (٢) وذلك بعمق ثلاثة أمتار أيضاً وباستخدام الأوجر اليدوى حيث تم تجميع سبعة عينات طبقاً لاختلافات التربة خلال القطاع و يتضح ذلـك مـن خـلال الجدول رقم (٢٩).

**جدول رقم (٢٩) يوضح عمق العينات بقطاع التربة رقم (٢)**

| رقم العينة | العمق | رقم العينة | العمق |
|---|---|---|---|
| (١) | من سطح الأرض حتى عمق ٥٠سم من القطاع | (٥) | من عمق ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم |
| (٢) | من عمق ٥٠ سم حتى عمق ١٠٠سم | (٦) | من عمق ٢٥٠سم حتى عمق ٢٧٠سم |
| (٣) | من عمق ١٠٠سم حتى عمق ١٥٠سم | (٧) | من عمق ٢٧٠ سم حتى عمق ٣٠٠سم |
| (٤) | من عمق ١٥٠ سم حتى عمق ٢٠٠سم | | |

وقد تم عمل دراسات تفصيلية على عينات الجستين حيث تم إجراء التحليل الميكانيكى لتعيين التوزيع الحجمى لحبيبات التربة مع تحديد القوام للتربة Soil Texture إلى جانب ذلك تم تعيين حد السيولة وحد اللدونة وحـد الانكماش لعينات التربة وكذلك مدى اللدونة ، كما تم تعيين محتوى التربة من كربونات الكالسيوم % وتركـيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة وتعيين الرقم الهيدروجينى للتربة (PH) مـن خـلال معلـق للتربـة (١:٥) بالإضافة إلى ذلك تم قياس تركيز أيونات الأملاح سواء الكايتونات أو الأنيونات الذائبة فى التربـة بوحـدات الجزء فى المليون (ppm) وذلك كما يلى :-

### أ- التحليل الميكانيكى (التوزيع الحجمى لحبيبات التربة):

### Mechanical Analysis (Particle Size Distribution)

- **القطاع رقم [١]**

تم حساب نسبة الزلط فى عينات التربة التسعة الخاصة بالقطاع رقم [١] وبلغت نسبتها حتى عمـق ٢٠سـم ٢٤% بالوزن من العينة وتنوعت قيمتها خلال القطاع حيث بلغت أعلى قيمة لها وهى ٢٨% من وزن العينـة على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغت أقل قيمة لها وهى ١٦% من وزن العينة فى العينة رقـم (٢) وهى من عمق ٢٠سم حتى عمق ٤٠سم والعينة الأخيرة رقم (٩) وهى على عمق من ٢٤٠سـم حتـى عمق ٣٠٠ سم أما نسبة الحبيبات الأقل من القطر من ٢مم وتشمل الرمل والطمى Silt والطين Clay فنجدها أيضاً متنوعة ومختلفة خلال الطبقات المختلفة من القطاع .

الرمل **Sand**: بلغ أقصى قيمة له عند نهاية الجسة أو القطاع رقم (١) على عمق من ٢٤٠سم حتى ٣٠٠سم وهو ٥٩,١ % أما أقل قيمة فكانت على السطح على عمق من ٠,٥ سم حتى عمـق ٢٠سـم وبلغت ٤٦,٩% .

الطمى **Silt** : بلغت أقل قيمة لها على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠ سم وهى ٨% أما أقصى قيمة وهى ١٠,٨ % فكانت على عمق من ٢٠سم حتى عمق ٤٠سم .

الطين Clay : اتخذ الطين قيم متفاوتة خلال الطبقات المختلفة من القطاع حيث بلغت أقل قيمة لها على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠ وهى ١١,٦% بينما بلغت أقصى قيمى لها وهى ١٩,٩ خلال الطبقة السطحية من القطاع وحتى عمق ٢٠سم .

- **القطاع رقم [٢]**

**الزلط** : أخذت نسبة الزلط خلال القطاع رقم [٢] قيماً مقاربة إلى حد ما حيث بلغت أقل قيمة لها ١٥% على عمق من ٢٠٠سم إلى عمق ٢٥٠سم وكذلك على عمق من ٢٥٠سم حتى عمق ٢٧٠سم بينما أقصى قيمة لنسبة الزلط بلغت ١٩% على عمق حتى ٥سم من السطح وبلغت نفس النسبة على العمق الذى يليه وهو من ٥٠سم حتى ١٠٠سم .

**الرمل** : بلغت أقصى قيمة لنسبة الرمل ٦٥% من وزن العينة وذلك على عمق من ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم وبلغت أقل قيمة لها ٥٣,٧ % على عمق من ٥٠سم حتى عمق ١٠٠سم .

**الطمى** : تفاوتت نسب الطمى خلال الطبقات المختلفة من القطاع وبلغت أقصى قيمة لها على عمق من ٥٠سم حتى ١٠٠سم وهى ١٤,٦% بينما قلت نسبتها إلى حد ما على عمق من ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم وبلغت ٥,٤ % .

**الطين** : تقاربت نسبة الطين بشكل ملحوظ خلال القطاع رقم [٢] وبلغت أقصى قيمة له ١٤,٦% على عمق من ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠ سم وبلغت اقل قيمة له ١٢,٧% على عمق من ٥٠سم حتى ١٠٠سم .

ويوضح الجدول رقم (٣٠) النتائج الكاملة للتحليل الميكانيكى والتوزيع الحجمى لحبيبات التربة للقطاعين رقم [١]،[٢] .

## ب ـ قوام التربة Soil Texture

- **القطاع رقم [١]**

بالنسبة لقوام التربة نجد أن التربة حتى عمق ٢٠ سم طميية طينية رملية حصوية أما عمق من ٢٠سم حتى عمق ٤٠ سم فالتربة طميية طينية رملية ثم من عمق٤٠ سم حتى عمق ٢٠٠ سم نجدها طميية رملية حصوية ومن عمق ٢٠٠سم حتى عمق ٣٠٠ سم نجد أن التربة طميية رملية .

- **القطاع رقم [٢]**

قوام التربة فى القطاع رقم [٢] وجد أنها تربة طميية رملية من سطح القطاع حتى عمق ١٥٠سم أما من عمق ١٥٠ سم حتى عمق ٢٠٠سم فكانت التربة طميية رملية حصوية ومن عمق ٢٠٠سم حتى عمق ٣٠٠سم نجد أن التربة طميية رملية مرة أخرى .

ويوضح الجدول رقم (٣٠) النتائج الكاملة لتعيين قوام التربة Soil Texture فى القطاعين رقم [١]،[٢] .

ويتضح مما سبق أن التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى هى عبارة عن تربة ردم تتباين فى خواصها فى الطبقات المختلفة منها وبالتالى لا يوجد تجانس بينهما.

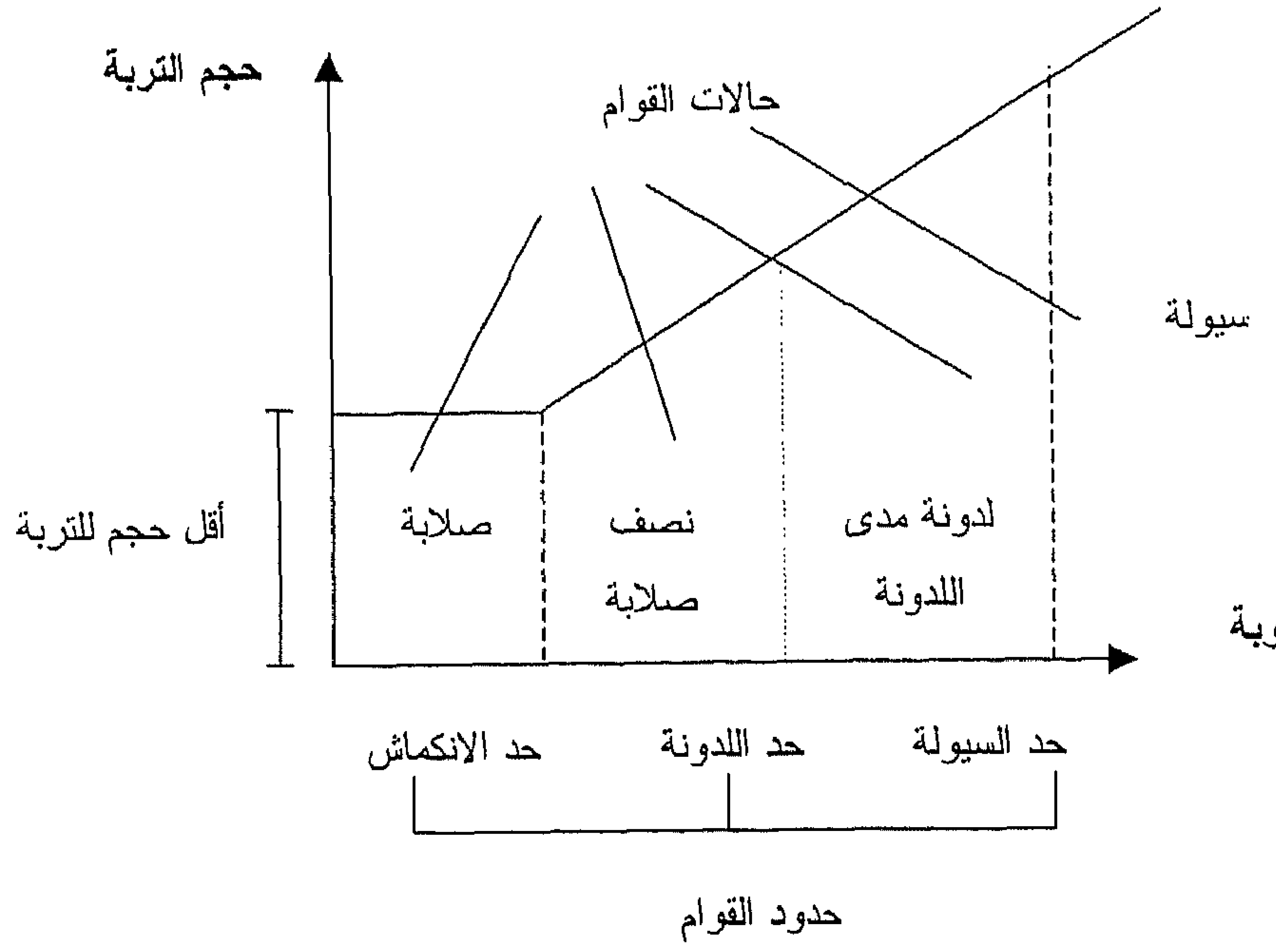
جدول (٣٠) التحليل الميكانيكى ( التوزيع الحجمى لحبيبات التربة )
**(Mechanical Analysis (Particle Size Disteibutin**

| رقم القطاع | عمق العينة بالسم | الحبيبات الأقل من ٢ملليمتر محسوبة على أساس وزن ناعم التربة | | | نسبة الحصى % وزنا من عينة التربة الكلية | Soil Texture القوام |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الرمل % Sand | السلت % Silt | الطين % Clay | | |
| ١ | ٠-٢٠ | ٦١,٧ | ١٢,١ | ٢٦,٢ | ٢٤ | طميية طينية رملية حصوية |
| | ٢٠-٤٠ | ٦٦,١ | ١٢.٨ | ٢٢,١ | ١٦ | طميية طينية رملية |
| | ٤٠-٧٠ | ٧٠,٩ | ١٢ | ١٧,١ | ٢٢ | طميية رملية حصوية |
| | ٧٠-١١٠ | ٧٢,٦ | ١١,٢ | ١٦,٢ | ٢٤ | طميية رملية حصوية |
| | ١١٠-١٥٠ | ٧٢,٨ | ١١,١ | ١٦,١ | ٢٨ | طميية رملية حصوية |
| | ١٥٠-١٨٠ | ٧٢ | ١١,٣ | ١٦,٧ | ٢٣ | طميية رملية حصوية |
| | ١٨٠-٢٠٠ | ٧١,٣ | ١١,٣ | ١٧,٤ | ٢٢ | طميية رملية حصوية |
| | ٢٠٠-٢٤٠ | ٧٠,٦ | ١٢,١ | ١٧,٣ | ٢٠ | طميية رملية |
| | ٢٤٠-٣٠٠ | ٧٠,٣ | ١٢,٣ | ١٧,٤ | ١٦ | طميية رملية |
| ٢ | ٠-٥٠ | ٧١,٥ | ١١,٤ | ١٧,١ | ١٩ | طميية رملية |
| | ٥٠-١٠٠ | ٦٧,٥ | ١٩,٢ | ١٦,٣ | ١٩ | طميية رملية |
| | ١٠٠-١٥٠ | ٧١,٨ | ١١,١ | ١٧,١ | ١٨ | طميية رملية |
| | ١٥٠-٢٠٠ | ٧١,٨ | ١١ | ١٧,٢ | ٢١ | طميية رملية حصوية |
| | ٢٠٠-٢٥٠ | ٧٦,٥ | ٦,٤ | ١٧,١ | ١٥ | طميية رملية |
| | ٢٥٠-٢٧٠ | ٧٠,٧ | ١٢,٣ | ١٧ | ١٥ | طميية رملية |
| | ٢٧٠-٣٠٠ | ٧٠,٥ | ١٢,٤ | ١٧,١ | ١٦ | طميية رملية |

## جـ - تعيين حد كلاً من اللدونة و السيولة و الانكماش

عندما يقل محتوى الرطوبة فى التربة إلى حد معين وتبدأ فى أن يكون لها قوام لدن (قابل للتشكل ) يسمى هذا الحد "حد السيولة Liquid Limit " ومع تقليل محتوى الرطوبة إلى حد أخر تصل التربة فيه إلى الحالة التى تفقد عندها مرونتها ولدونتها وتبدأ فى التشقق عند التشكل يسمى هذا الحد " حد اللدونة Plastic Limit " ومعنى ذلك أن التربة تكون فى حالة قابلة للتشكل (لدنة) عندما يكون محتوى الرطوبة فيها محصوراً بين حدى السيولة واللدونة خلال ذلك تكون للتربة قابلية للانضغاط والهبوط تحت الأحمال ولكن لها بعض المقاومة التى تزداد مع نقص نسبة المياه وعند حد اللدونة تكون التربة مشبعة بالمياه ولكنها قوية وقابليتها للهبوط صغيرة ، وعندما يقل محتوى الرطوبة عن حد اللدونة تكون التربة فى حالة نصف صلبة حتى تصل التربة إلى أقل حجم ممكن ، حيث تتقارب الحبيبات بتنسيق متضاغط إلى اقل ما يمكن فيسمى محتوى الرطوبة الذى تصل عنده التربة إلى اقل حجم ممكن (حد الانكماش) عندما يتراوح محتوى الرطوبة فى التربة بين حدى اللدونة والانكماش تكون التربة مشبعة ولها مقاومة عالية.

وإذا قل محتوى الرطوبة بالتربة عن حد الانكماش تصبح التربة غير مشبعة وفى حالة صلبة حتى تصل إلـى الجفاف الكامل بدون تغير فى الحجم . ويوضح الشكل رقم (٤٤) العلاقة بين محتوى الرطوبة وحالات القـوام للتربة .(١)




**شكل رقم (٤٤) يوضح العلاقة بين محتوى الرطوبة وحالات القوام للتربة**

وقد تم تعيين حدود القوام للتربة المقام عليها مئذنة يشبك من مهدى والمتمثلة فـى حـد اللدونـة والسـيولة والانكماش وقد كانت النتائج كالتالى :

## (أ) حد اللدونة

- **القطاع رقم [١]**

يتفاوت حد اللدونة فى طبقات القطاع المختلفة نظراً لطبيعة التربة من حيث كونها تربة ردم وقـد تراوحـت قيمة حد اللدونة ما بين ١٨,١% إلى ٢٧,٣ % حيث سجلت الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم من القطـاع أعلى قيمة لحد اللدونة وهى ٢٧,٣% كما سجل القطاع عند عمق ٢٠٠سم حتى عمق ٢٤٠سم اقل قيمة لحـد اللدونة وبلغت ١٨,١% والنتائج كاملة بالجدول رقم (٣١) .

- **القطاع رقم [٢]**

تقاربت إلى حد ما قيمة حد اللدونة وهذا يخالف النتائج التى تم الحصول عليها فى القطاع رقم [١] مما يتضح معه أيضاً مدى اختلاف خواص وطبيعة التربة فى الأماكن المختلفة وفى الأعماق المختلفة حيث نجد أن أعلى قيمة لحد اللدونة كانت ٢٢% وذلك على عمق ١٠٠سم حتى ١٥٠سم من منسوب الأرض وكذلك على عمـق ٢٧٠سم حتى عمق ٣٠٠ سم .

أما أقل قيمة لحد اللدونة فقد بلغت ١٧% وذلك على عمق من ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم والنتـائج كاملـة موضحة بالجدول رقم (٣١).

(١) عمرو رضوان : المبادئ العملية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، ١٩٩٤م ، ص٤٠-٤١

## (٢) حد السيولة

- **القطاع رقم [١]**

تراوحت قيمة حد السيولة من ٢٤,٤% حتى ٣٢,٤% والملاحظ فى قيمتى حد اللدونة وحد السيولة أنها تـأخذ أعلى قيمة لها فى القطاع رقم [١] فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم وسجلت قيمة حـد السـيولة فـى القطاع رقم [١] أعلى قيمة لها كما ذكر فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم وهى ٣٢,٤ % بينما اقل قيمة لها وهى ٢٤,٤% فكانت على عمق من ١٥٠سم حتى عمق ١٨٠سم والنتائج كاملة بالجدول رقم (٣١) .

- **القطاع رقم [٢]**

تراوحت قيمة حد السيولة فى هذا القطاع ما بين ٢١,١% حتى ٢٨,٧% وسجلت أعلى قيمة لها على عمـق من ١٠٠سم حتى ١٥٠سم بينما كانت اقل قيمة لحد السيولة فى هذا القطاع وهى ٢١,١% على عمـق مـن ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٣١) .

## (٣) مدى اللدونة

يقع مدى اللدونة فى المنطقة ما بين حدى السيولة واللدونة ونحصل عليها عن طريق طرح قيمة حد السـيولة من حد اللدونة فتعطى قيمة تكون هى قيمة مدى اللدونة وقد كانت النتائج كالتالى :-

- **القطاع رقم [١]**

بلغت أعلى قيمة لمدى اللدونة ٨,٢ وذلك على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم بينما اقل قيمة بلغـت ٤ وذلك على عمق من ١٥٠سم حتى عمق ١٨٠سم .

- **القطاع رقم [٢]** :

بلغت أعلى قيمة لمدى اللدونة ٨,٣ وذلك على عمق حتى ٥٠سم من الطبقة السطحية للأرض أما اقل قيمـة لمدى اللدونة فقد بلغت ٤,١ وذلك على عمق من ٢٠٠سم حتى عمق ٢٥٠سم .

## (٤) حد الانكماش

- **القطاع رقم [١]**

يتفاوت حد الانكماش فى طبقات القطاع المختلفة نظراً لطبيعة التربة من حيث كونها تربة ردم وقد تراوحـت قيمة حد الانكماش ما بين ١٣,٤% إلى ١٨,٢% حيث سجلت الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم من القطـاع أعلى قيمة لحد الانكماش وهى ١٨,٢% كما سجل القطاع عند عمق ١٥٠سم حتى عمق ١٨٠سم اقل قيمة لحد اللدونة وبلغت ١٣,٤% والنتائج كاملة بالجدول رقم (٣١) .

- **القطاع رقم [٢]**

اختلفت إلى حد ما قيمة حد الانكماش مما يتضح معه أيضاً مدى اختلاف خواص وطبيعة التربة فى الأمـاكن المختلفة وفى الأعماق المختلفة حيث نجد أن أعلى قيمة لحد الانكماش كانت ١٥,٨ % وذلـك علـى عمـق ٢٥٠سم حتى ٢٧٠سم من منسوب الأرض ، أما أقل قيمة لحد الانكماش فقد بلغت ١٣,٧% وذلك على عمـق من ١٥٠سم حتى عمق ٢٠٠سم والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٣١).

جدول (٣١) يبين حدود اللدونة والسيولة والانكماش ومدى اللدونة

| رقم القطاع | عمق القطاع بالسم | حد اللدونة % | حد السيولة % | مدى اللدونة | حد الانكماش |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | ٠-٢٠ | ٢٧,٣ | ٣٢,٤ | ٥,١ | ١٨,٢ |
| | ٢٠-٤٠ | ٢٥,٧ | ٣٠,١ | ٤,٤ | ١٦,٥ |
| | ٤٠-٧٠ | ٢٢,٢ | ٢٨,٢ | ٦,٠ | ١٤,٩ |
| | ٧٠-١١٠ | ١٩,٤ | ٢٦,٩ | ٧,٥ | ١٤,٢ |
| | ١١٠-١٥٠ | ١٧,٨ | ٢٦,٠ | ٨,٢ | ١٣,٨ |
| | ١٥٠-١٨٠ | ٢٠,٤ | ٢٤,٤ | ٤,٠ | ١٣,٤ |
| | ١٨٠-٢٠٠ | ١٩,٢ | ٢٥,١ | ٥,٩ | ١٣,٦ |
| | ٢٠٠-٢٤٠ | ١٨,١ | ٢٥,١ | ٧,٠ | ١٣,٦ |
| | ٢٤٠-٣٠٠ | ١٩,٤ | ٢٥,٣ | ٥,٩ | ١٣,٧ |
| ٢ | ٠-٥٠ | ١٨,٣ | ٢٦,٦ | ٨,٣ | ١٤,١ |
| | ٥٠-١٠٠ | ١٩,٧ | ٢٥,٨ | ٦,١ | ١٣,٩ |
| | ١٠٠-١٥٠ | ٢٢,٣ | ٢٨,٧ | ٦,٤ | ١٥.٣ |
| | ١٥٠-٢٠٠ | ١٩,٦ | ٢٥,٧ | ٦,١ | ١٣,٧ |
| | ٢٠٠-٢٥٠ | ١٧,٠ | ٢١,١ | ٤,١ | ١٠,٦ |
| | ٢٥٠-٢٧٠ | ٢١,١ | ٢٩,٠ | ٧,٩ | ١٥,٨ |
| | ٢٧٠-٣٠٠ | ٢٢,٣ | ٢٧,٣ | ٥,٠ | ١٤,٧ |

## د ـ تعيين الرقم الهيدروجينى للتربة

تم تعيين الرقم الهيدروجينى لكل من القطاعين رقمى [١]،[٢] من خلال معلق للتربة (١:٥) وكانت النتائج كالتالى :-

- **القطاع رقم [١]**

من خلال قياس الرقم الهيدروجين (قيمة PH ) خلال عينات القطاع رقم [١] يبين أن التربة بشكل عام تميل إلى القاعدية حيث تعدت قيمة PH الرقم (٧) ووصلت عند أعلى قيمة لها وبلغت ٨,٢٣ على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغت أقل قيمة لها وهى ٨,٠٥ على عمق من ٤٠سم إلى عمق ٧٠ سم والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٣٢).

- **القطاع رقم [٢]**

تميل أيضاً التربة من خلال نتائج هذا القطاع إلى القاعدية حيث كانت فى حدود الرقم ٨ بالنسبة لقيمة PH وقد بلغت أقصى قيمة لها على عمق من ١٥٠سم حتى عمق ٢٠٠سم وهو ٨,٣ بينما بلغت أقل قيمة لها ٨,١١ على عمق من ٢٧٠سم حتى عمق ٣٠٠سم . والنتائج الكاملة موضحة من خلال الجدول رقم (٣٢).

## هـ - تعيين نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة

تم تعيين نسبة كربونات الكالسيوم فى التربة وذلك على أساس وزنة العينات المقاسة وبلغت أعلى قيمة لها خلال القطاع رقم (١) وبلغت ٣٠,٨ % بينما كانت أقل قيمة لنسبة كربونات الكالسيوم خلال القطاعين ، فى القطاع رقم (١) وبلغت ١١,٢% وقد كانت النتائج كالتالى :

- **القطاع رقم [١]**

سجلت نسبة كربونات أقل قيمة لها خلال القطاع فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم وبلغت ١١,٢% بينما سجل القطاع أعلى قيمة لنسبة كربونات الكالسيوم وكانت ٣٠,٨ % وذلك على عمق من ٤٠سم حتى عمق ٧٠سم . والنتائج كاملة مسجلة بالجدول رقم (٣٢) .

- **القطاع رقم [٢]**

سجل أقل قيمة لنسبة كربونات الكالسيوم أيضاً خلال الطبقة السطحية وحتى عمق ٥٠سم وكانت ١٥,١% أما أعلى قيمة لنسبة كربونات الكالسيوم وبلغت ٢٤,٧% وسجلت على عمق من ٢٥٠سم حتى عمق ٢٧٠سم والنتائج كاملة مدونة بالشكل رقم (٣٢).

**جدول (٣٢) الرقم الهيدروجينى فى معلق التربة (٥:١) ، محتوى التربة من كربونات الكالسيوم %**

| رقم القطاع | عمق القطاع بالسم | الرقم الهيدروجينى PH. | كربونات الكالسيوم % على أساس الوزن |
|---|---|---|---|
| ١ | ٠-٢٠ | ٨,١٨ | ١١,٢ |
| | ٢٠-٤٠ | ٨,١٢ | ١٧,٧ |
| | ٤٠-٧٠ | ٨.٠٥ | ٣٠,٨ |
| | ٧٠-١١٠ | ٨,١٢ | ٢٤,٧ |
| | ١١٠-١٥٠ | ٨,٢٣ | ٢٠,٢ |
| | ١٥٠-١٨٠ | ٨,١١ | ٢١,٢ |
| | ١٨٠-٢٠٠ | ٨,١ | ١٩,٢ |
| | ٢٠٠-٢٤٠ | ٨,١ | ٢٠,٠ |
| | ٢٤٠-٣٠٠ | ٨,١٦ | ٢١,٦ |
| ٢ | ٠-٥٠ | ٨,٢ | ١٥,١ |
| | ٥٠-١٠٠ | ٨,٢٥ | ١٦,٥ |
| | ١٠٠-١٥٠ | ٨,٢٦ | ٢٠,١ |
| | ١٥٠-٢٠٠ | ٨,٣ | ٢٤,٥ |
| | ٢٠٠-٢٥٠ | ٨,٢٧ | ١٨,٧ |
| | ٢٥٠-٢٧٠ | ٨,١٢ | ٢٤,٧ |
| | ٢٧٠-٣٠٠ | ٨,١١ | ١٨,٩ |

## و- قياس تركيز الكاتيونات والأنيونات الذائبة فى التربة

تم قياس تركيز الكايتونات الذائبة فى التربة والمتمثلة فى الصوديوم $Na^{+}$ والبوتاسيوم $K^{+}$ والكالسيوم $Ca^{++}$ والماغنسيوم $Mg^{++}$ والأينونات الذائبة فى التربة والممثلة فى مجموعة البيكربونات $HCO_3$ والكلـــور $CL^{-}$ ومجموعة الكبريتات $SO_4$ وذلك لعينات التربة الممثلة للقطاعين رقمى [١]،[٢] فى الطبقات المختلفة فيـــهما وقد كانت النتائج كالتالى :

- **القطاع رقم [١]**

**أولاً : الكاتيونات Cations**

### (١) الصوديوم $Na^{+}$

وصلت نسبة تركيز كايتون الصوديوم $Na^{+}$ عند الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم إلى أعلى قيمة له بيـــن طبقات القطاع المختلفة وبلغت (٤٦٠٠) جزء فى المليون (ppm) وبلغ تركيز الصوديوم $Na^{+}$ اقل قيمة لـــه خلال القطاع على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغت (١٩٥٥)(ppm) والنتـــائج كاملـــة مدونـــة بالجدول رقم (٣٣) .

### (٢) البوتاسيوم $K^{+}$

بلغ تركيز كاتيون البوتاسيوم $K^{+}$ الذائب فى التربة أقصى قيمة له عند الطبقة السطحية أيضاً للقطاع وبلغـــت (٢٧٣٠)(ppm) وبلغ اقل قيمة له على عمق من ١١٠سم إلى عمق ١٥٠سم وبلغت (٩٧٥)(ppm) والنتـــائج كاملة موضحة من خلال الجدول رقم (٣٣).

### (٣)الكالسيوم $Ca^{++}$

بلغ أقصى تركيز له على عمق من ٤٠سم إلى عمق ٧٠سم وهو (٤٧٨٦)(ppm) وأقل قيمة لتركـــيزه فـــى التربة على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغت (٣٩٢٧)(ppm) .

### (٤) الماغنسيوم $Mg^{++}$

تقاربت قيم الماغنسيوم بشكل ملحوظ خلال الطبقات المختلفة من القطاع كما لوحظ أن نســـبة ضئيلـــة جـــداً مقارنة بنسب تركيز الكاتيونات الأخرى الذائبة فى التربة وقد سجلت قيمة متوســـطة مقدارهـــا (٢٠)(ppm) وزادت هذه النسبة زيادة طفيفة حيث وصلت إلى (٢٠,٥)(ppm) خلال بعض طبقات القطاع .

ونستخلص من ذلك أن الكايتونات الذائبة فى التربة فى القطاع رقم [١] والتى تم قياسها بينت زيادة نسبة كـــل من كايتون الصوديوم $Na^{+}$ والكالسيوم $Ca^{++}$ حيث سجل الكالسيوم أعلى قيمة لتركيزه فى القطـــاع وذلـــك على عمق من ٤٠سم وحتى عمق ٧٠سم وبلغت (٤٧٨٦)(ppm) كما سجل الصوديـــوم $Na^{+}$ أعلـــى قيمـــة لتركيزه وهى (٢٧٣٠)(ppm) وذلك فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٢٠سم ثم يأتى الماغنسيوم $Mg^{++}$ بنسبة ضئيلة وبلغت (٢٠,٥)(ppm) ويفسر ذلك وجود أملاح الهلليت داخل أحجار مئذنة يشبك من مهدى .

## ثانياً : الأنيونات Anions

### (١) مجموعة البيكربونات $HCO_3^-$

بلغ أقصى تركيز لنسبة البيكوبونات (١٢٢٠)(ppm) وذلك فى الطبقة التى على عمق من ٤٠سم حتى عمق ٧٠سم وأقل قيمة لتركيز البيكربونات كانت على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغت (٩١٥)(ppm).

### (٢) الكلور $Cl^-$

بلغ أعلى تركيز للكلور $Cl^-$ (٨٦٩٧)(ppm) وذلك فى الطبقة التى على عمق من ٢٠سم حتى ٤٠سم بينما اقل تركيز له كان على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغ (٣٩٠٥)(ppm) .

### (٣) مجموعة الكبريتات $SO_4^{--}$

بلغ أعلى تركيز لمجموعة الكبريتات $SO_4^{--}$ (١٠٣٢٠) (ppm) وذلك فى الطبقة التى على عمق من ٢٠سم حتى ٤٠سم وكذلك فى الطبقة التى على عمق من ١٨٠سم حتى ٢٠٠سم بينما اقل تركيز كان (٨١٦٠)(ppm) وذلك فى الطبقة من القطاع التى على عمق من ٧٠سم حتى عمق ١١٠سم .

وتوضح النتائج السابقة أيضاً زيادة نسبة أنيونات الأملاح التى لها تأثير ضار على مئذنة يشبك من مهدى وهى الكلوريد $Cl^-$ والكبريتات $SO_4^{--}$ حيث سجلت الكبريتات أعلى قيمة وربما يرجع ذلك إلى ما تحتوى المياه الأرضية الموجودة فى التربة من كائنات حية دقيقة تؤدى إلى وجود نشاط ميكروبيولوجى تنتج عنه المركبات الكبريتية والتى توجد فيها أنيونات الكبريتات $SO_4^{--}$ أما أنيونات الكلوريد $Cl^-$ فتوجد كشائبة فى التربة المصرية وخاصة فى صورة كلوريد صوديوم (ملح الهاليت NaCl) والذى يمثل خطراً كبيراً عند صعوده بالخاصية الشعرية داخل جدران المئذنة وتبلوره بين حبيبات الأحجار مما يؤدى إلى تفكك وتآكل السطح وانفصال بعض مكوناته على هيئة طبقات وقشور .

- **القطاع رقم [٢]**

## أولاً : الكاتيونات Cations

### (١) الصوديوم $Na^+$

يعتبر تركيز الصوديوم الذائب فى التربة مرتفعاً إلى حد ما حيث سجل أعلى قيمة له عند عمق من ٢٧٠سم وحتى عمق ٣٠٠سم وبلغت (٩٧٧٥)(ppm) بينما سجل الصوديوم أقل قيمة لتركيزه عند الطبقة السطحية للقطاع وحتى عمق ٥٠سم وبلغت (٣٤٥٠)(ppm) .

### (٢) البوتاسيوم $K^+$

سجل البوتاسيوم أعلى قيمة لتركيزه على عمق من ١٥٠سم حتى عمق ٢٠٠سم وبلغت (٣٩٠٠)(ppm) وأقل نسبة لتركيزه كانت فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٥٠سم وبلغت (١١٧٠)(ppm) .

### (٣) الكالسيوم $Ca^{++}$

سجل الكالسيوم $Ca^{++}$ قيمة عالية لتركيزه خلال القطاع وذلك على عمق من ٢٧٠سم حتى ٣٠٠سم وبلغت (٥١٨٧)(ppm) وقد سجل أقل قيمة لتركيزه على عمق من ٥٠سم حتى عمق ١٠٠سم وبلغت (٤٥٨٧)(ppm) .

### (٤) الماغنسيوم $Mg^{++}$

يعتبر تركيز الماغنسيوم الذائب أقل تركيزات الكاتيونات التى تم قياسها وقد بلغت أقل قيمة لتركيزه (١٩)(ppm) وذلك على عمق من ٢٠٠سم حتى ٢٥٠سم كما سجل أعلى قيمة ومقدارها (٢٠,٥)(ppm) خلال الطبقة السطحية وحتى عمق ٥٠سم .

## ثانياً : الأنيونات Anions

تم قياس تركيز مجموعة البيكربونات $HCO_3^-$ والكلوريد $CL^-$ والكبريتات $SO_4^{--}$وقد جاءت النتائج كالتالى

### (١) مجموعة البيكربونات $HCO_3^-$

من خلال قياس تركيز مجموعة البيكربونات $HCO_3^-$ الذائبة فى التربة المقام عليها مئذنة يشبك من مهدى خلال القطاع رقم [٢] وجد أن أعلى تركيز له كان على عمق من ٢٧٠سم حتى عمق ٣٠٠سم وبلغ (١٥٢٥)(ppm) بينما اقل تركيز له بلغ (٦١٠)(ppm) وذلك على عمق من ٥٠سم حتى ١٠٠سم .

### (٢) الكلور $Cl^-$

من خلال عمليات القياس تم ملاحظة الارتفاع الكبير لنسبة الكلور خلال القطاع رقم [٢] مع ملاحظة أن نسبته وتركيزه يزداد كلما تعمقنا إلى اسفل حيث بلغت أعلى نسبة لتركيز خلال الطبقة السفلية الأخيرة من القطاع وذلك على عمق من ٢٧٠سم حتى عمق ٣٠٠سم وبلغ (١٧٧٥٠) (ppm) بينما بلغت أقل قيمة لتركيزه عند الطبقة السطحية من القطاع ومن عمق ٥٠سم وبلغت (٧٢٧٧)(ppm) .

### (٣) مجموعة الكبريتات $SO_4^{--}$

نسبة تركيزها مرتفعة بالنسبة للأنيونات الأخرى وبلغت أقل قيمة لها فى الطبقة السطحية وحتى عمق ٥٠سم وهى (٩٣٦٠)(ppm) بينما أعلى قيمة لها وهى (١٣٤٤٠)(ppm) كانت على عمق من ١٠٠سم حتى عمق ١٥٠سم وكذلك على عمق من ٢٥٠سم حتى ٢٧٠سم.

## ز ـ تعيين تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة (TDS)

تم تعيين تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة (TDS) فى العينات الخاصة بالقطاعي رقمى [١]،[٢] وذلك بوحدات الجزء فى المليون (ppm) وكانت النتائج كالتالى :-

- **القطاع رقم [١]**

تباينت قيمة تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة (TDS) خلال الطبقات المختلفة من التربة فى القطاعين وقد بلغت أعلى قيمة لتركيز الأملاح الكلية الذائبة (٤٠١٥٠) (ppm) وذلك على عمق من ٢٠سم حتى عمق

٤٠سم أما أقل قيمة لتركيز الأملاح الكلية الذائبة فسجل على عمق من ١١٠سم حتى عمق ١٥٠سم وبلغ (٢٥٨٠٠) (ppm) والزيادة أو النقص فى هذه النسبة غير متدرج وغير منتظم خلال القطاع وذلك بسبب طبيعة التربة وهى من نوع تربة الردم وتتميز بكونها غير متجانسة ومختلفة فى مكوناتها من طبقة إلى أخرى وبالتالى فهى مختلفة فى خواصا وفى سلوكها الإنشائى والنتائج كاملة موضحة من خلال الجدول رقم (٣٣) .

- **القطاع رقم [٢]**

اختلفت أيضاً إلى حد كبير قيم تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة خلال الطبقات المختلفة من القطاع وقد كانت نسبة الأملاح الكلية الذائبة [TDS] مرتفعة بوجه عام خلال طبقات هذا القطاع حيث بلغت أقل قيمة لتركيز الأملاح الكلية الذائبة (٣٤٥٥٠) (ppm) وذلك فى الطبقة السطحية للقطاع وحتى عمق ٥٠سم أما أعلى نسبة فكانت (٥٦٥٠٠) (ppm) وسجلت على عمق من ١٥٠ سم حتى عمق ٢٠٠سم والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٣٣) .

## ج ـ استخدام التحليل بحيود الاشعة السينية فى التعرف على معادن الطفلة

يتم إعداد عينات بطريقة خاصة من التربة حيث يمكن بواسطة فصل معادن الطفلة وتحليلها بواسطة حيود الأشعة السينية التعرف على هذه المعادن لاسيما وأن الانعكاسات الناتجة للأشعة السينية والمميزة لمعادن الطفلة تتداخل مع بعض الانعكاسات الناتجة عن معادن أخرى ولذلك كان لابد من إجراء عملية فصل لمعادن الطفلة من التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى لك يتم التعرف عليها وقد تم ذلك كالتالى :

### إعداد العينات وفصل معادن الطفلة

لإعداد العينات للتحليل بحيود الأشعة السينية تم أخذ عينة من التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى ، وقد تم فصل معادن الطفله بها [1] و كانت النتائج كما يلى :

### نتائج التحليل

تم فصل معادن الطفلة بإتباع الخطوات التى تم ذكرها سابقاً حيث تم التعرف على معدنين من معادن الطفلة هما : الكاولينيت Kaolinite $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ رقم الكارت (0105 – 02) والذى أختفى بالتسخين عند ٥٥٠°م كما تم التعرف على معدن الأيلليت K,Mg,Al(OH)Silicate Illite رقم الكارت (0050 – 02)ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٤٦) .

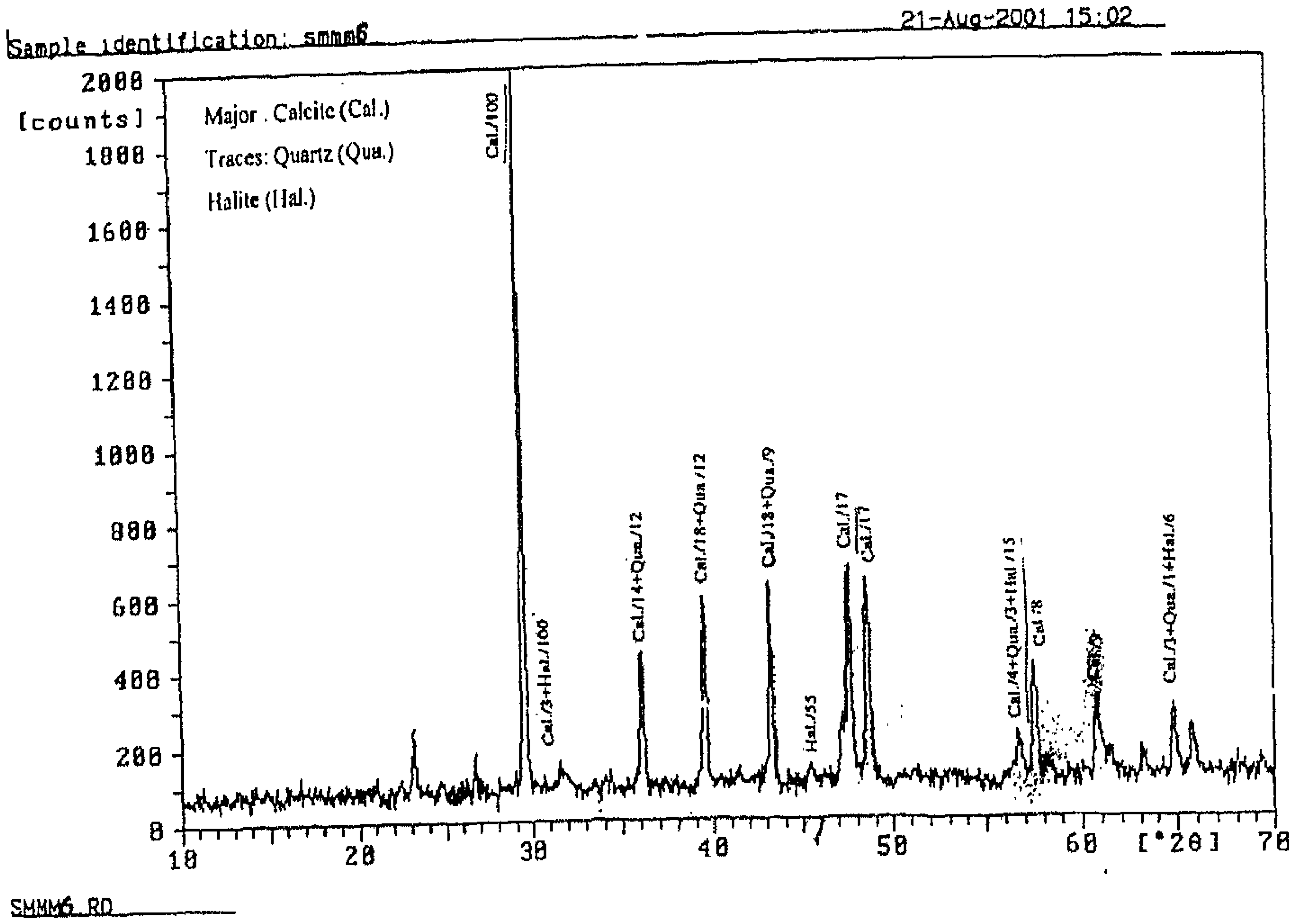
ثم تم تحليل عينة التربة بواسطة طريقة حيود الأشعة السينية بعد فصل معادن الطفلة منها تبين أنها تتكون من معدن الكالسيت Calcite $CaCO_3$ رقم الكارت(0586 – 5) بالإضافة إلى وجود معدن الكوارتز Quartz $SiO_2$ ، رقم الكارت(0490 – 5) ومعدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ ، رقم الكارت (0046 – 6)، ويوضح الشكل رقم (٤٥) نمط حيود الأشعة السينية للعينة .

---

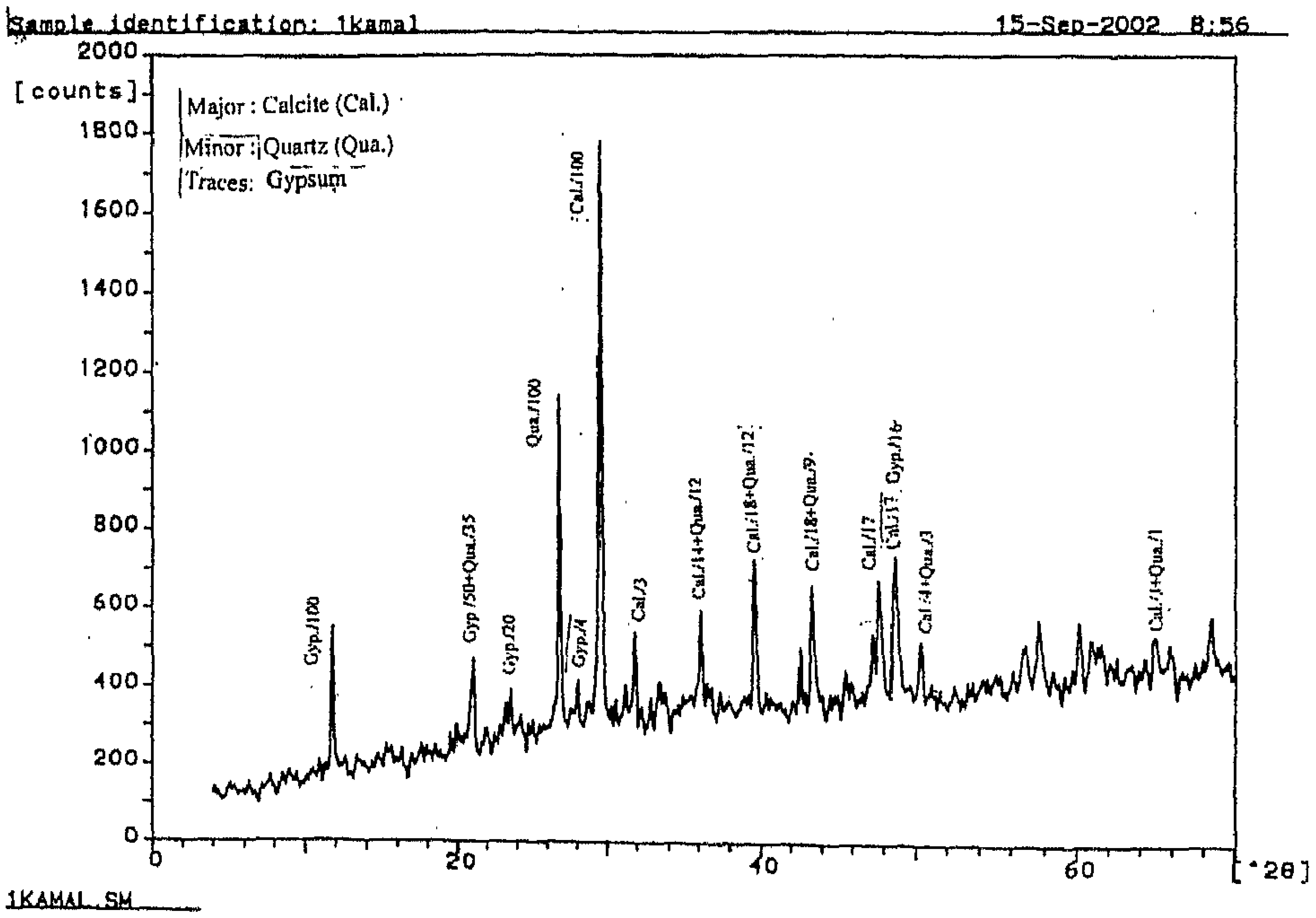
(1) Moore, D. M. And JR, RC.R. :X- Ray Diffraction And The Identification And Analysis Of Clay Minerals, Oxford Uni, Press, New York, 1989,p.165.

جدول (٣٣) تركيز الكاتيونات والأنيونات الذائبة فى التربة (بوحدة جزء فى المليون ppm) وتركيز الأملاح الكلية الذائبة TDS

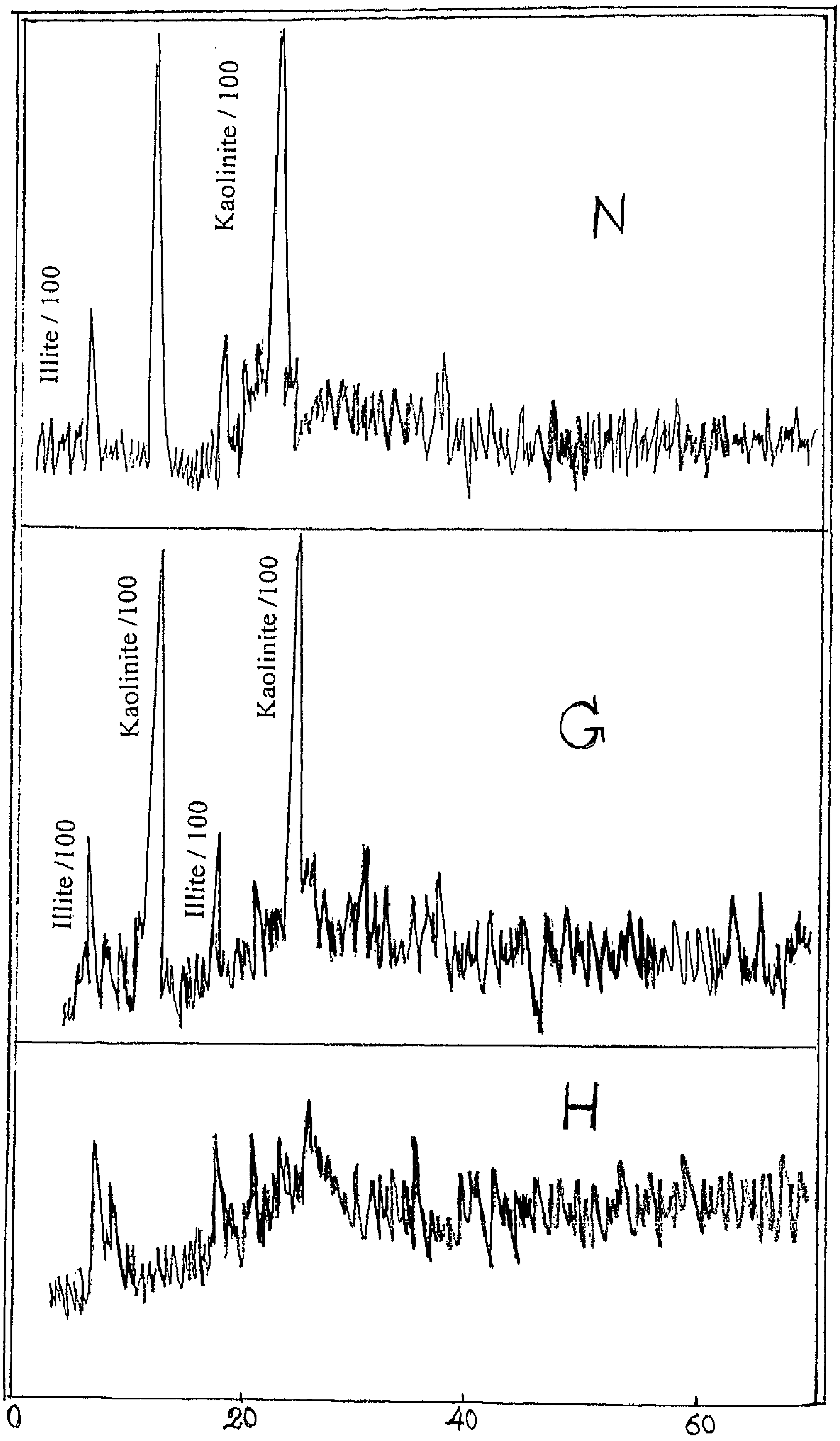
| رقم القطاع | عمق القطاع بالسم | تركيز الكاتيونات و الأنيونات الذائبة فى التربة مليجرام / كجم تربة والأملاح الكلية الذائبة TDS | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | صوديوم $Na^{+}$ | بوتاسيوم $K^{+}$ | كالسيوم $Ca^{++}$ | ماغنسيوم $Mg^{++}$ | كربونات $CO_3^{--}$ | بيكربونات $HCO_3^{-}$ | كلوريد $Cl^{-}$ | كبريتات $SO_4^{--}$ | تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى التربة TDS |
| ١ | ٠-٢٠ | ٤٦٠٠ | ٢٧٣٠ | ٣٩٦٦ | ٢٠,٥ | – | ١٠٦٧ | ٨٥٢٠ | ٨٨٨٠ | ٣٨٧٥٠ |
| | ٢٠-٤٠ | ٤٣٧٠ | ٢٣٤٠ | ٤٦٦٧ | ٢٠,٠ | – | ١١٤٤ | ٨٦٩٧ | ١٠٣٢٠ | ٤٠١٥٠ |
| | ٤٠-٧٠ | ٣٦٨٠ | ١٧٥٥ | ٤٧٨٦ | ٢٠,٥ | – | ١٢٢٠ | ٨١٦٥ | ٩٣٦٠ | ٣٧٣٥٠ |
| | ٧٠-١١٠ | ٣٢٢٠ | ١٣٦٥ | ٤٤٦٦ | ٢٠,٥ | – | ١١٤٤ | ٦٣٩٠ | ٨١٦٠ | ٢٩٦٥٠ |
| | ١١٠-١٥٠ | ١٩٥٥ | ٩٧٥ | ٣٩٢٧ | ٢٠,٠ | – | ٩١٥ | ٣٩٠٥ | ٨٤٠٠ | ٢٥٨٠٠ |
| | ١٥٠-١٨٠ | ٢٣٠٠ | ١١٧٠ | ٤١٨٧ | ٢٠,٠ | – | ٩٩١ | ٤٧٩٢ | ٨٨٨٠ | ٢٨٦٠٠ |
| | ١٨٠-٢٠٠ | ٢٥٣٠ | ١٣٦٥ | ٤٢٤٧ | ٢٠,٠ | – | ١٠٦٧ | ٥١٤٧ | ١٠٣٢٠ | ٣٠٠٥٠ |
| | ٢٠٠-٢٤٠ | ٢٦٤٥ | ١١٧٠ | ٤٢٤٧ | ٢٠,٠ | – | ٩٩١ | ٤٩٧٠ | ٩٣٦٠ | ٢٨٨٠٠ |
| | ٢٤٠-٣٠٠ | ٣١٠٥ | ١١٧٠ | ٤٢٢٧ | ٢٠,٠ | – | ٩٩١ | ٤٩٧٠ | ٩١٢٠ | ٢٩٩٠٠ |
| ٢ | ٠-٥٠ | ٣٤٥٠ | ١١٧٠ | ٤٨٠٦ | ٢٠,٥ | – | ١٢٢٠ | ٧٢٧٧ | ٩٣٦٠ | ٣٤٥٥٠ |
| | ٥٠-١٠٠ | ٥١٧٥ | ٢١٤٥ | ٤٥٨٧ | ٢٠,٠ | – | ٦١٠ | ٩٢٣٠ | ٩٨٤٠ | ٣٦٧٠٠ |
| | ١٠٠-١٥٠ | ٧٩٣٥ | ٣٣١٥ | ٤٩٨٧ | ٢٠,٠ | – | ١٢٢٠ | ١٣١٣٥ | ١٣٤٤٠ | ٤٧٥٠٠ |
| | ١٥٠-٢٠٠ | ٩٥٤٥ | ٣٩٠٠ | ٥٠٠٧ | ٢٠,٠ | – | ١٣٧٢ | ١٦١٥٢ | ١٢٧٢٠ | ٥٦٥٠٠ |
| | ٢٠٠-٢٥٠ | ٨٩٧٠ | ٣٥١٠ | ٤٦٢٨ | ١٩,٠ | – | ١٤٤٩ | ١٦١٥٢ | ١٢٧٢٠ | ٥٠٠٥٠ |
| | ٢٥٠-٢٧٠ | ٩٣١٥ | ٣٦٤٦ | ٥٠٨٧ | ٢٠,٠ | – | ١٣٧٢ | ١٧٢١٧ | ١٣٤٤٠ | ٥٤٠٠٠ |
| | ٢٧٠-٣٠٠ | ٩٧٧٥ | ٣٧٠٥ | ٥١٨٧ | ٢٠,٠ | – | ١٥٢٥ | ١٧٧٥٠ | ١٢٩٢٠ | ٥٥٠٠٠ |




شكل رقم (٣٩) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة من الأحجـــار الموجـــودة ضمـــن الحشو الداخلى بقاعدة مئذنة يشبك من مهدى




شكل رقم (٤٥) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة تربة من موقع مئذنـــة يشـــبك مـــن مهدى




شكل رقم (٤٦) يوضح مقارنة بين أنماط حيود الأشعة السينية لعينة معادن الطفلة التى تم فصلها من التربة بموقع مئذنة يشبك من مهدى وهى تتكون بشكل أساسى من معدنى الألليت والكاولينيت الذى يختفى بالتسخين.

## ثاني عشر : التحليل الإنشائي لمئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلي

### ١) أسلوب ومواد بناء المئذنة

بنيت مئذنة يشبك من مهدى باستخدام كتل متساوية ومئذنة الأسطح من الحجر الجيرى وهى مكونة من ثلاثة مستويات المستوى الأول من البدن يمثل القاعدة وهى مربعة الشكل وقائمة على ساباط (ممر ذو سقف على هيئة قبو) وتحتوى القاعدة فى الجزء العلوى منها فوق السقف المقبى للممر على حشوه داخلية بين مداميك الأحجار الجيرية وقد ثبت من خلال التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية أن هذه الحشوه الداخلية تتكون من كسر الحجر الجيرى والرمل والجير ، أما المستوى الثانى فهو على هيئة مداميك من الحجر الجيرى المنتظم ويأخذ الشكل المثمن أما المستوى الثالث فهو دائرى الشكل ومكون أيضا من مداميك الحجر الجيرى وتنتهى المئذنة بنهاية المستوى الثالث حيث أن قمة المئذنة قد انهارت فى تاريخ غير معلوم وهو على الأرجح وطبقا للطراز المملوكى للمئذنة كان على هيئة جوسق محمول على ثمانية أعمدة ينتهى بقمة بصلية الشكل ، أما مونة بناء المئذنة فقد تم تحليلها بواسطة حيود الأشعة السينية وتبين أنها مكونة بصفة أساسية من مونة الجبس والجير والرمل ، والمئذنة مستقلة عن مسجد الإمام الليث أى أنها منفصلة وغير مدمجة فى كتلة المسجد حيث تقع بجوار المسجد فى الجهة الجنوبية الغربية منه وهى مبنية على التربة مباشرة .

### ٢) إعداد البيانات اللازمة لإجراء التحليل الانشائى للمئذنة

تم إجراء اختبار لخواص المئذنة للحصول على البيانات اللازمة لإجراء التحليل الإنشائى للمئذنة باستخدام الحاسب الآلى بطريقة العناصر المحددة Finite Element Method حيث يتم استخدام برنامج ساب ٢٠٠٠ - SAP 2000 وذلك كالتالى :-

#### أ- قياس الكثافة Density

تم قياس كثافة الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى وأتضح أنها تبلغ ٢,١٤ جرام / سم٣ .

#### ب - قياس الخواص الميكانيكية للحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى

تم قياس الخواص الميكانيكية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى مثل قوة تحمل الضغط Compressive Strength وقوة تحمل الشد Tensile Strength وقوة تحمل القص Shear Strength ومعامل المرونة (معامل يانج) Young's Moudulus ونسبة بواسون Poisson Ratio والنتائج موضحة من خلال الجدول رقم (٣٤).

جدول رقم (٣٤) يوضح نتائج قياس الخواص الميكانيكية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى

| | |
|---|---|
| Young's Moudulus | $3.2X10^5$ |
| Poisson Ratio | 0.19 |
| Compressive Strength | 270 kg/cm$^2$ |
| Tensile Strength | 24 kg/cm$^2$ |
| Shear Strength | 65 kg/cm$^2$ |

## ٣) النموذج الرياضى للتحليل الإنشائى للمئذنة The Structure Modeling

تم تحويل جميع نتائج قياسات الاختبارات الميكانيكية للأحجار الجيرية للمئذنة بوحدات طن/ متر وتم تحميلها على برنامج ( ساب ٢٠٠٠ SAP2000) لإجراء التحليل الإنشائى للمئذنة ، ولبناء النموذج الرياضى المجسم فى الأبعاد الثلاثة للمئذنة تم تمثيل القاعدة المصمطة المربعة الشكل للمئذنة بواسطة عناصر عبارة عن كتل أو بلوكات مصمته Solid Finite Blocks أما المستوى الثانى المثمن والذى يبدأ من منطقة المثلثات المقلوبة فتم تمثيلها بواسطة عناصر قشرية Shell Elements وكذلك بالنسبة للمستوى الدائرى تم تمثيله بواسطة عناصر قشرية أيضا ، أما بالنسبة للحالة التى تم عمل التحليل الإنشائى فيها للمئذنة بغرض استكمال قمتها المفقودة (الجوسق المحمول على ثمانية أعمدة ) فقد تم تمثيل الأعمدة الثمانية بواسطة عناصر هيكلية فراغية Space Frame Elements أما القمة البصلية فقد تم تمثيلها بواسطة عناصر قشرية Shell Elements ، والعناصر السابقة مجتمعة تم الحصول منها على نموذج رياضى ثلاثى الأبعاد (مجسم) للمئذنة وقد تم إجراء التحليل الإنشائى للمئذنة تحت تأثير الأحمال المختلفة التى تؤثر فى اتزانها حيث تم دراسة التحليل الإنشائى للمئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأكثرها أهمية وتأثيرا فى المئذنة هى الأحمال الميتة (أى أحمال وزن المئذنة نفسها ) وكذلك تم دراسة التحليل الإنشائى للمئذنة تحت تأثير الأحمال الأفقية وأكثرها خطورة على المئذنة هى أحمال الزلازل وما ينشأ عنها من حركة فجائية تؤثر فى اتزان المئذنة وقد تسبب انهيار المئذنة وعلى الأرجح هى التى سببت انهيار قمة مئذنة يشبك من مهدى موضوع الدراسة وغيرها من المآذن المملوكية ذات القمة المنتهية بجوسق والمعروفة فى العمارة الإسلامية بالمآذن الناقصة أو المآذن المقصوفة .كما تم دراسة اتزان المئذنة تحت تأثير الأحمال الميتة وأحمال الزلازل مجتمعة إلى جانب ذلك تم حساب الإجهادات التى تحدث فى الأجزاء المختلفة من جسم (بدن) المئذنة وكذلك فى قاعدتها وقد تم عمل التحليل الإنشائى السابقة للمئذنة فى حالتين :-

**الحالة الأولى** : تمثل الوضع الراهن للمئذنة وقمتها مفقودة .

**الحالة الثانية** : تمثل المئذنة فى حالة استكمال قمتها المكونة من الجوسق الذى يحمل بواسطة ثمانية أعمدة وذلك كالتالى :-

## أولاً : التحليل الإنشائى للوضع الراهن للمئذنة

لإجراء التحليل الإنشائى للوضع الراهن للمئذنة تم تصميم نموذج رياضى مجسم فى الأبعاد الثلاثة يوضح الوضع الراهن للمئذنة وقمتها مفقودة ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٤٨) وتتضح العناصر الكتلية المصمطة لمنطقة القاعدة والعناصر القشرية لباقى أجزاء المئذنة من خلال قطاع تم عمله فى النموذج الرياضى ثلاثى الأبعاد ، شكل رقم (٥١) وتم وضع هذا النموذج الرياضى للأحمال الراسية (الأحمال الدائمة التى تمثل كتلة المئذنة) والأحمال و الإجهادات الأفقية المتمثلة فى أحمال الزلازل وذلك طبقاً وباستخدام برنامج ( ساب ٢٠٠٠ SAP2000) للتحليل الإنشائى وبالنسبة لتأثير الأحمال الأفقية المتوقعة للزلازل تم الحصول على بعض الأشكال التى توضح التشكلات الحادثة للمئذنة طبقاً لأزمنة التردد الطبيعى الخاصة بها عند التعرض للحركة الديناميكية الناشئة عن أحمال الزلازل ومن ذلك التغيرات الحادثة فى شكل المئذنة خلال زمن التردد الطبيعى الأساسى (Mode 1) كما يتضح من شكل رقم (٤٩) وزمن التردد الطبيعى الأساسى

للمئذنة Mode 1 هو(٠,١٢٤٠ ثانية) ونتبين منه حركة المئذنة حيث تمثل الخطوط الرأسية الوضع الأصلي للمئذنة أما الخطوط المائلة يميناً أو يساراً فتمثل حركة المئذنة كما تتضح حركة المئذنة خلال زمن التردد الطبيعى الثالث ويبلغ هذا الزمن (٠,٣٨٢ ثانية) ، شكل رقم (٥٢) كما يظهر تغير شكل المئذنة الناتج خلال زمن التردد الطبيعى الرابع للزلزال ويبلغ (٠,٣٧٩ ثانية) من خلال شكل رقم (٥٣)

## أ - التغيرات الشكلية الحادثة للمئذنة نتيجة الاحمال الراسية الدائمة ( كتلة المئذنة)

قد تحدث للمئذنة تشوهات Deformations فى الشكل تحت تأثير الأحمال الرأسية الدائمة (كتلة المئذنة) ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٥٤)، وقد اظهر التحليل الإنشائى أن القيمة القصوى للحركة عند قمة المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية تبلغ (٠,١ مم) فى الاتجاه الرأسى و (٠,٠٢ مم) فى الاتجاه الأفقى ، و هى قيم صغيرة جداً وتؤكد ثبات المئذنة فى الوضع الحالى .

## ب - التغيرات الشكلية الناتجة تحت تأثير الاحمال الراسية الدائمة وأحمال الزلازل الافقية

هناك بعض التشكلات التى قد تحدث للمئذنة تحت تأثير الأحمال الراسية الدائمة والأحمال الأفقية للزلازل وتظهر فى المستوى الثالث الدائرى للمئذنة والمستوى الثانى المثمن للمئذنة ونتبين ذلك من خلال شكل رقم(٥٥) ، الإجهادات الناتجة فى المئذنة تحت تأثير الحد الأدنى من الأحمال الرأسية الدائمة والأحمال الأفقية للزلازل (المستوين الثانى المثمن والثالث الإسطوانى للمئذنة) وقد اظهر التحليل الإنشائى أن أقصى قيمة للإزاحة الأفقية فى هذه الحالة تبلغ (٢مم) وهى أيضاً قيمة صغيرة مما يؤكد ثبات المئذنة فى وضعها الحالى ، تم تحديد الإجهادات الناتجة للمئذنة تحت تأثير الحد الأدنى من الأحمال الرأسية والأفقية حيث يقوم برنامج ( SAP2000 ) بالجمع الجبرى لقيم هذه الأحمال إحدهما بالموجب والأخر بالسالب فينتج الحد الأدنى للإجهادات الحادثة ونتبين من خلال شكل رقم (٥٧) القيم الصغرى والقصوى للإجهادات الرأسية تحت تأثير الأحمال الرأسية الدائمة مع أحمال الزلازل الأفقية فى العناصر القشرية Shell Elements فى هذه الحالة وهى الحد الأدنى من الأحمال ، وقد اتضح أن المئذنة فى هذه الحالة تتعرض لأحمال ضغط Compression وتترواح القيمة الصغرى لأحمال الضغط من صفر حتى ٢٢ طن / متر٢ أما القيمة العظمى لهذه الأحمال فتبلغ قيمة فى حدود ١٧٦ طن / متر ٢ اى ١٧,٦ كجم / سم٢ وبالمقارنة بقوة تحمل أحجار المئذنة للضغط من خلال جدول رقم (٢٧) نجد أن المئذنة تتحمل قوة ضغط تبلغ ٢٧٠ كجم / سم٢ ولذلك تعتبر هذه الإجهادات آمنة ولا تؤثر على اتزان المئذنة ، كما تم تحديد الإجهادات الناتجة للمئذنة تحت تأثير الحد الأقصى للأحمال الرأسية وأحمال الزلازل حيث نتبين من خلال شكل رقم (٥٩) أن هناك إجهادات ضغط Compression تبلغ أقصى قيمة لها ٣٢ طن / متر٢ أى ٣,٢كجم/سم٢ وهى أقل من قوة تحمل أحجار المئذنة للضغط بكثير مما نستنتج معه أن هذه الأحمال آمنة ولا تؤثر على اتزان المئذنة كما توجد إجهادات شد Tension ناتجة عن أحمال وزن المئذنة (الأحمال الدائمة) + أحمال الزلازل وهى تتراوح من أقل ١٦ طن/متر٢ أى ١,٦ كجم/سم٢ وحتى ٩٦ طن/متر٢ أى ٩,٦ كجم/سم٢ بينما تتحمل أحجار المئذنة إجهادات شد Tension تصل إلى ٢٤ كجم/سم٢ وهى أكبر كثيراً من الإجهادات التى تتعرض لها المئذنة تحت تأثير الأحمال الأفقية (الزلازل ) + الرأسية (وزن المئذنة) التى قد تتعرض لها وذلك طبقاً للكود المصرى للأحمال

وبذلك نستنتج أن المئذنة آمنة و متزنة كذلك بالنسبة لما قد تتعرض له من أحمال وذلك بالنسبة للأحمال الواقعة على المستويين الثانى المثمن والثالث الإسطوانى للمئذنة والممثلة بعناصر قشرية Shell Elements وذلك فى النموذج الرياضى المجسم (ثلاثى الأبعاد).

**جـ ـ الإجهادات الناتجة فى قاعدة المئذنة تحت تأثير الحد الادنى من الاحمال الرأسية (الدائمة ) والأفقية (أحمال الزلازل) والممثلة بعناصر مصمتة Solid Elements**

تم حساب الإجهادات الناتجة فى قاعدة المئذنة تحت تأثير الحد الأدنى من الأحمال الرأسية (وزن المئذنة) + الأحمال الأفقية للزلازل ونتبين من خلال شكل رقم (٥٨) الحد الأدنى من الأحمال والقيم الصغرى والعظمى للإجهادات الناتجة عنها وتبلغ القيمة الصغرى من صفر حتى ٣٥ طن /م٢ اى ٣,٥ كجم / سم٢ وهى قوى ضغط Compression تصل إلى ٢٨٠ طن /م٢ أى ٢٨كجم /سم٢ وبالمقارنة بقوة تحمل أحجار المئذنة للضغط (٢٧٠كجم/سم٢) نجد أن هذه الأحمال صغيرة وآمنة ، كما تم حساب الحد الأقصى من الأحمال المؤثرة على المئذنة و الإجهادات الناتجة عنها ، شكل رقم (٦١) حيث أتضح تعرض المئذنة لقوى ضغط أقصى قيمة لها ٥١ طن/م٢ أى ٥,١ كجم/سم٢ وقوى شد Tension أقصى قيمة لها ٨٥ طن / م٢ أى ٨,٥ كجم / سم٢ وبمقارنة هذه القيم للإجهادات بقوة تحمل أحجار المئذنة سواء لقوى الضغط (٢٧٠ كجم/سم٢) وقوى الشد (٢٤كجم/سم٢) نجد أن هذه الإجهادات الناتجة عن أحمال وزن المئذنة وكذلك أحمال الزلازل المتوقعة آمنة ولا تؤثر على الاتزان الإنشائى للمئذنة .

**د ـ اجهادات المئذنة الواقعة على التربة**

بلغت الكتلة الكلية للمئذنة (٢٤٠ طن) ولذلك فهى تؤثر بقوة مقدارها (٣,٢ كجم / سم٢) وتم حساب هذه القوة المؤثرة عن طريق ناتج قسمة الكتلة الكلية للمئذنة على مساحة القاعدة للمئذنة وهى مربعة الشكل ويبلغ طول ضلعها (٣,٢ م ) والمئذنة ثابتة ومتزنة فى الوضع الراهن تحت هذه القوة التى تؤثربها على التربة .

## ثانياً : التحليل الإنشائى للمئذنة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة

تم تصميم نموذج ثلاثى الأبعاد رياضى مجسم يوضح المئذنة بحالتها الكاملة عند استكمال منطقة الجوسق المفقودة وقمة المئذنة ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٤٨) وكانت نتائج التحليل الإنشائى كالتالى :-

**أ - التغيرات الشكلية الحادثة للمئذنة بفعل الحركة الديناميكية للزلازل**

تم تسجيل التشكلات الحادثة للمئذنة خلال زمن التردد الطبيعى الأساسى (Mode 1) للمئذنة وهو ٠,٢٠٤٩ ثانية كما بالشكل رقم (٥٠) ونتبين منه حدوث حركة للجزء الذى تم استكماله وهو الجوسق وقمة المئذنة فى اتجاه اليسار مع وجود حركة طفيفة فى المستوى المستدير أسفل منطقة الجوسق .

**ب ـ التغيرات الشكلية الناتجة تحت تأثير الأحمال الرأسية الدائمة والأحمال الأفقية للزلازل**

تظهر بعض التشكلات التى تحدث للمئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية الدائمة (وزن المئذنة) والأحمال الأفقية للزلازل وتظهر فى قمة المئذنة والجوسق وكذلك فى المستوى الدائرى والمستوى المثمن بشكل طفيف ويمكن التعرف على ذلك من خلال شكل رقم (٥٦)، وقد أظهر التحليل الإنشائى أن أقصى إزاحة أفقية للمئذنة فى هذه الحالة ستصل إلى (٧مم) وهى قيمة صغيرة وغير مؤثرة على اتزان المئذنة .

### جـ - الإجهادات الناتجة فى المئذنة تحت تأثير الأحمال الراسية الدائمة والأحمال الأفقية للزلازل فى المستويات الثانى والثالث وجوسق المئذنة وقمتها .

تم تحديد الإجهادات الناشئة بالمئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل الأفقية فى العناصر القشرية بالمئذنة بالإضافة للجوسق وقد اتضح أن المئذنة تتعرض لأحمال وإجهادات ضغط Compression تبلغ أقصى قيمة لها ٥١ طن/ متر ٢ أى ٥,١ كجم / سم٢ وأقل قيمة لها ١٧ طن / متر ٢ أى ١,٧ كجم/سم٢ وبالمقارنة بقوة تحمل المئذنة للضغط نجد أن الأحجار تتحمل حتى ٢٧٠ كجم/سم٢ لذلك فإن هذه الإجهادات تعتبر آمنة تماماً ولا تؤثر على اتزان المئذنة وقدرتها على التحمل كما توجد إجهادات شد Tension تتراوح من ١٧ طن /م٢ أى ١,٧ كجم / سم٢ وحتى ٨,٥ طن/م٢ أى ٠,٨٥ كجم / سم٢ وبالمقارنة بقوة تحمل الأحجار بالمئذنة نجدها ٢٤ كجم/سم٢ أى أن هذه الإجهادات تعتبر آمنة ولا تسبب مشاكل من حيث اتزان المئذنة .

### د - الإجهادات الناشئة فى قاعدة المئذنة تحت تأثير الأحمال الراسية والأفقية المتمثلة فى الزلازل فى حالة استكمال جوسق المئذنة وقمتها .

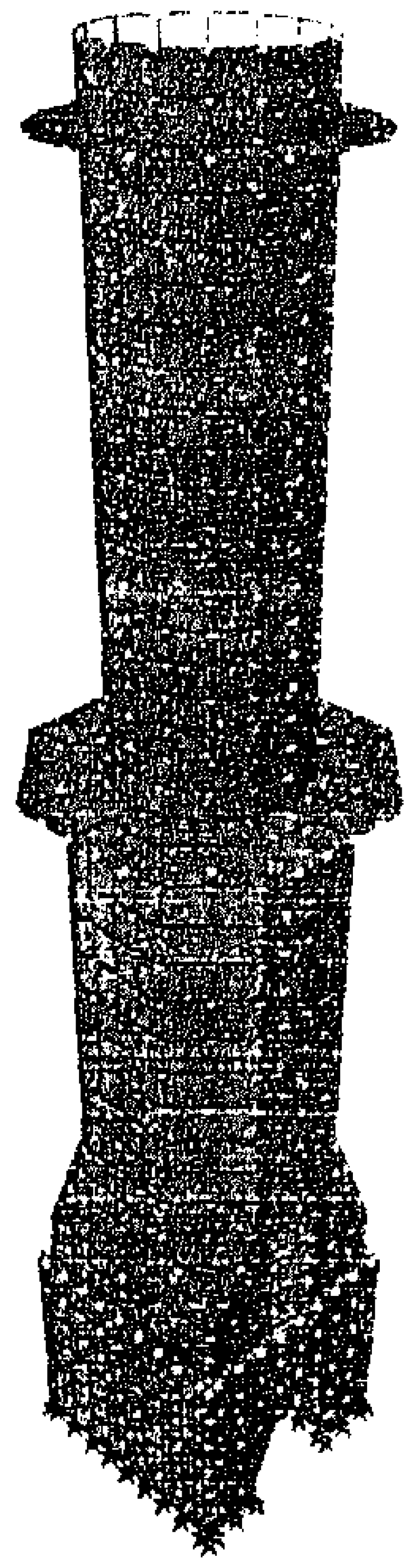
تم حساب الأحمال الناشئة و الإجهادات حيث اتضح تعرض المئذنة لقوة ضغط Compression تبلغ أقصى قيمة لها ٩,٦ كجم / سم٢ واقل قيمة لها تبلغ ١,٢ كجم/سم٢ وبالمقارنة بقوة تحمل أحجار المئذنة للضغط نجد أن هذه الإجهادات آمنة ولا تؤثر على إتزان المئذنة .

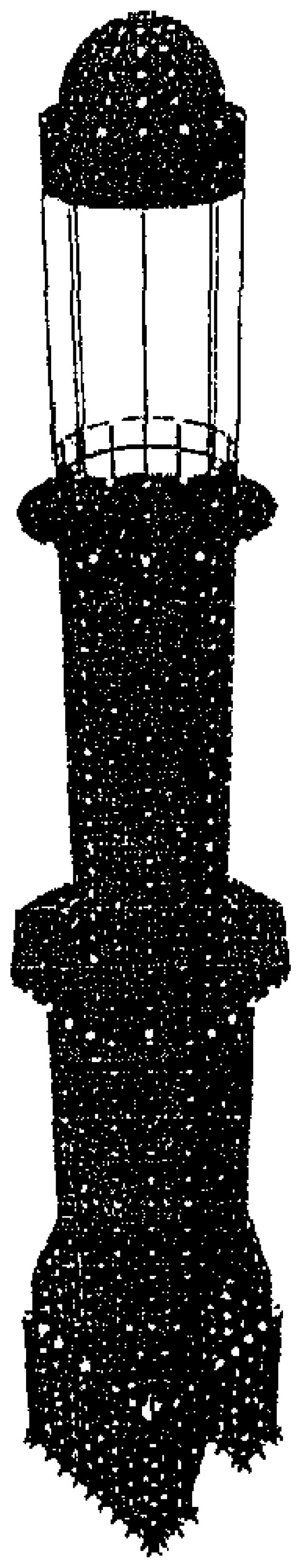
### هـ - الأحمال الواقعة من المئذنة على التربة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة

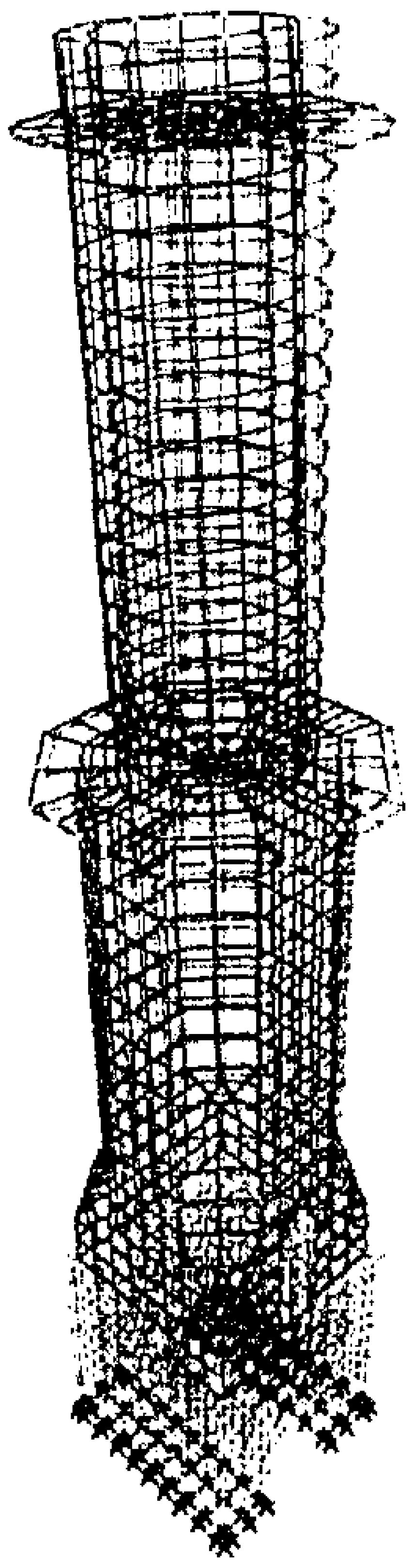
بدراسة الأحمال الناتجة عن وزن المئذنة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة وجد أن وزن المئذنة سيصل إلى ٢٤٦ طن/متر$^{٢}$ ، وبذلك تكون الأحمال الواقعة على التربة من المئذنة تبلغ ٣,٤ كجم/سم$^{٢}$ ، وبمقارنتها بأحمال المئذنة المؤثرة على التربة قبل استكمال الجوسق نجد أنها طفيفة حيث تبلغ ٣,٢ كجم/سم$^{٢}$ ، وبذلك نجد أنها أحمال غير كبيرة ولن تؤثر على ثبات واتزان المئذنة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة.

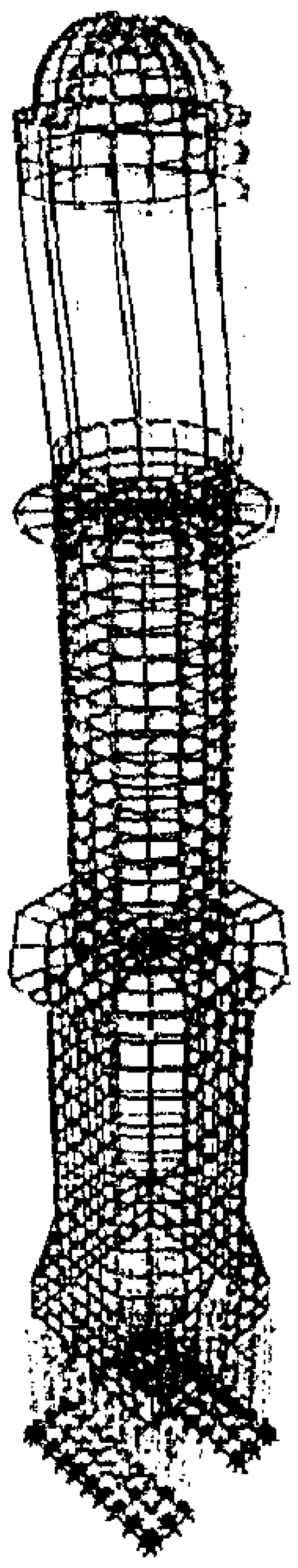
## ثالث عشر : دراسات المحيط الأثرى لمئذنة يشبك من مهدى بمنطقة الإمام الليث

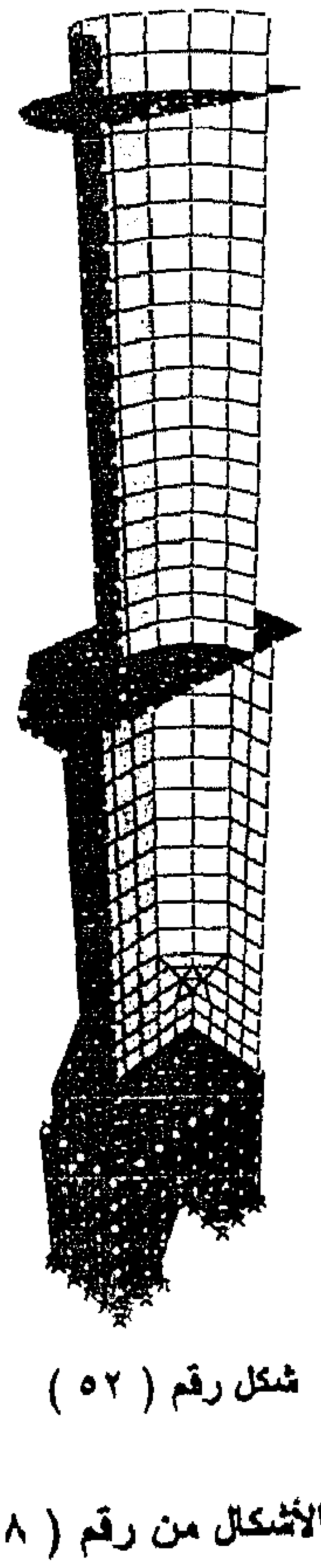
تعتبر دراسة المحيط الأثرى هامة جداً لما لذلك من تأثير على القيمة الأثرية حيث يتصل الأثر اتصال وثيق بموقعة والمحيط الموجود فيه ولذلك يجب الارتقاء والتحسين لهذا المحيط الأثرى وعدم ظهور بمظهر يسيئ إلى القيمة التاريخية والجمالية للأثر وفيما يتعلق بالمآذن الأثرية فنجد بعض هذه المآذن مستقلة ومنفصلة عن المبنى الأثرى حيث تعتبر المئذنة فى هذه الحالة أثراً مستقلاً بذاته يجب تنسيق الموقع المحيط بها وإعداده بالشكل الملائم للقيمة الفنية والتاريخية والأثرية للمئذنة حيث يجب العمل على حل المشكلات للعناصر العمرانية من كتل وفراغات ومسارات ومحاور وطرق وشبكات مرافق عامة وغيرها ، وفيما يتعلق بالمحيط الأثرى لمئذنة يشبك من مهدى فهى تقع فى منطقة الإمام الليث فى الاتجاه الجنوبى الغربى من مسجد الإمام الليث الذى يطل بواجهته الرئيسية على شارع الغفارى الذى يمتد إلى اليمين من مسجد الإمام الليث ليتقاطع مع شارع سيدى عقبة ونستطيع الوصول إلى المئذنة من خلال شارع الإمام الليث الموازى لشارع الإمام

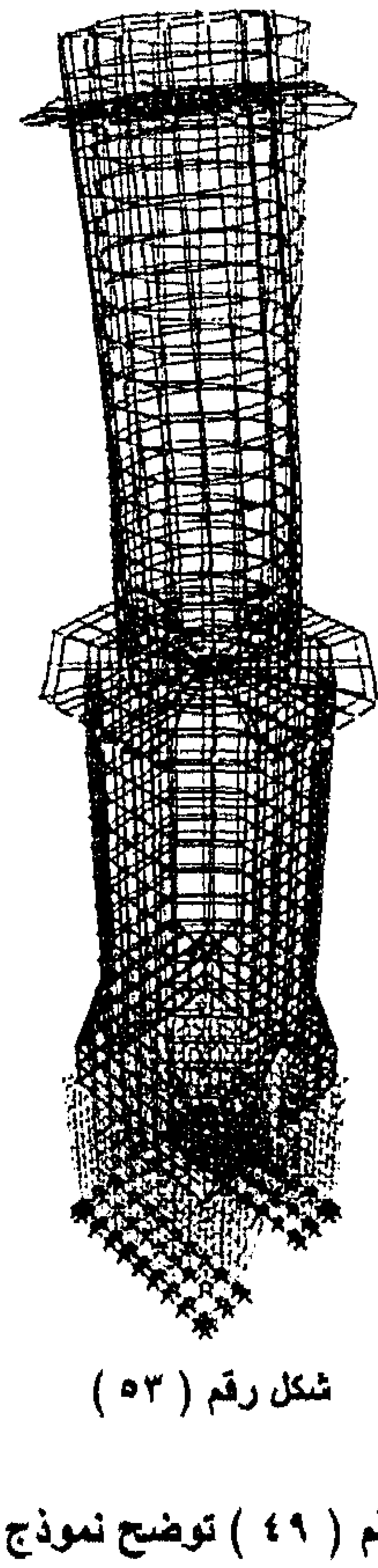

شكل رقم ( ٤٨ )

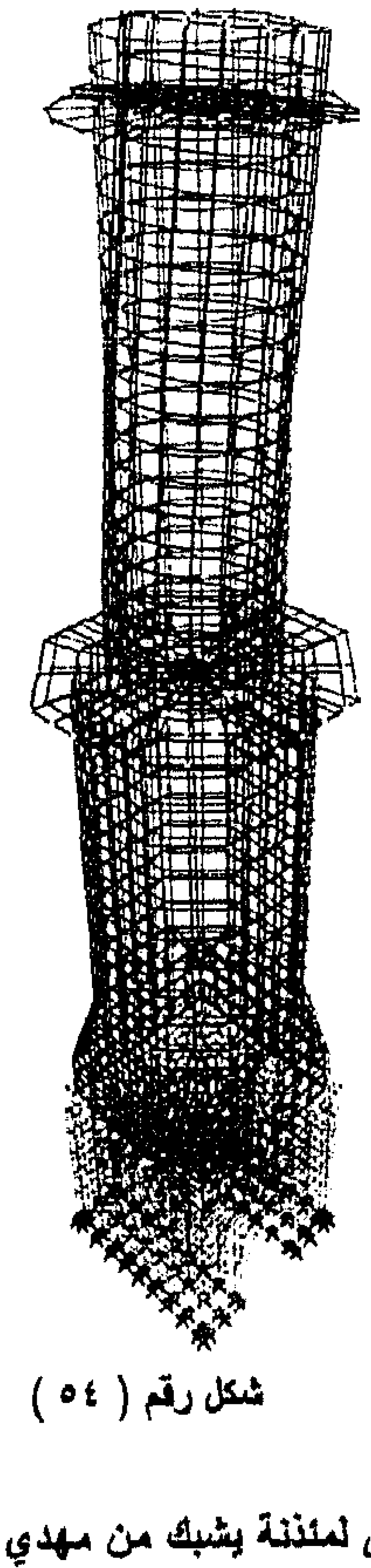

شكل رقم ( ٤٩ )

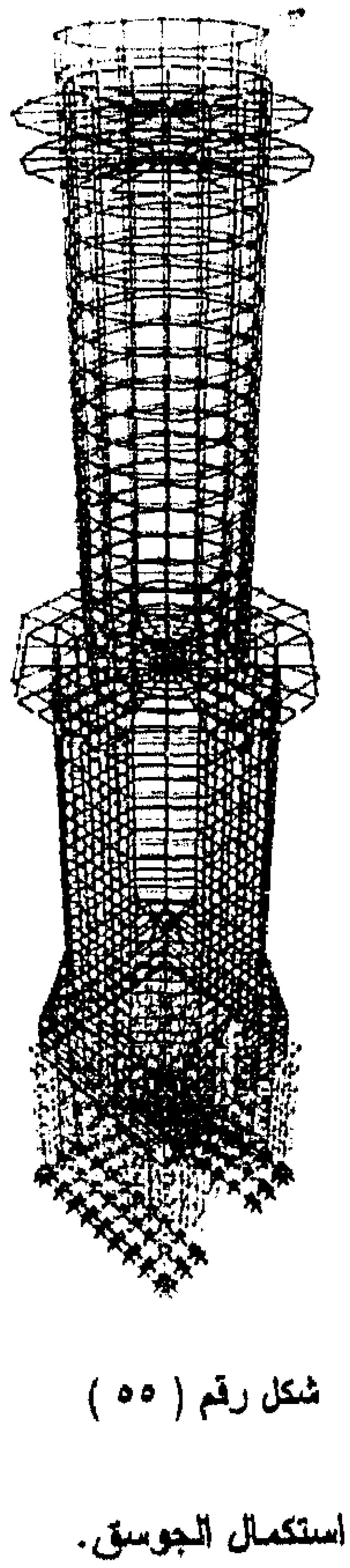

شكل رقم ( ٥٠ )


شكل رقم ( ٥١ )


شكل رقم ( ٥٢ )

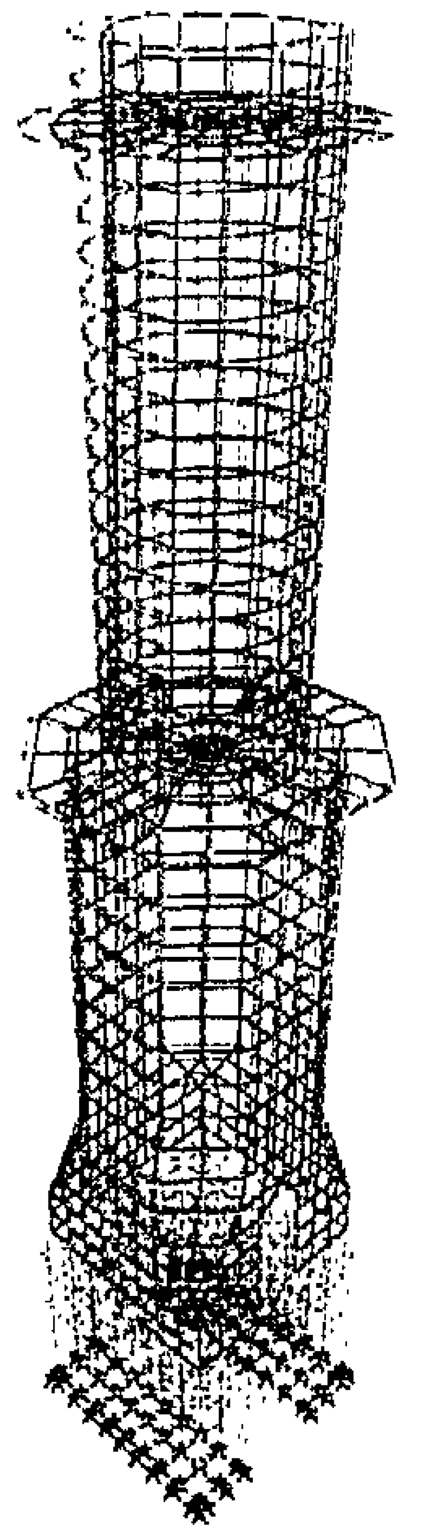

شكل رقم ( ٥٣ )


شكل رقم ( ٥٤ )

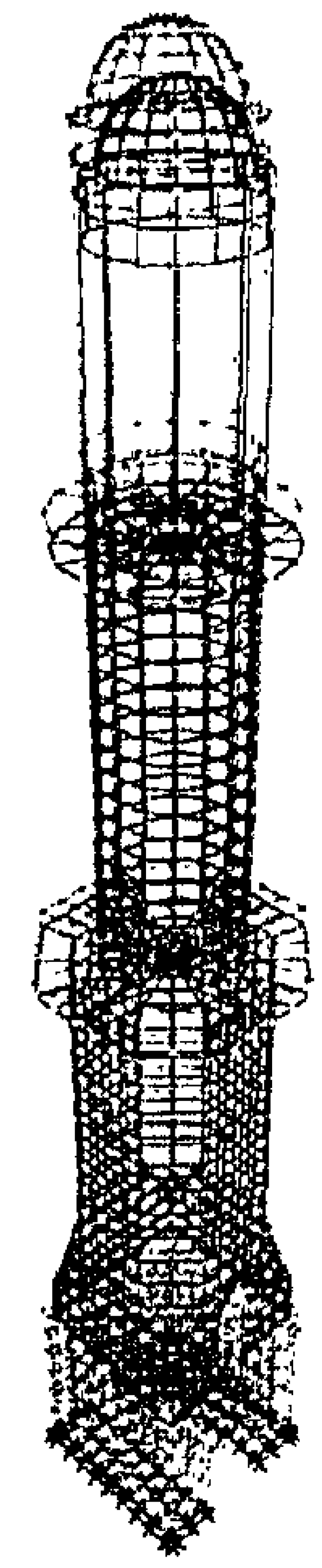

شكل رقم ( ٥٥ )

**الأشكال من رقم ( ٤٨ ) إلي رقم ( ٤٩ ) توضح نموذج رياضي لمئذنة يشبك من مهدي بالجوسق وبدون استكمال الجوسق.**
**الأشكال من رقم ( ٥٠ ) إلي رقم ( ٥١ ) توضح شكل المئذنة خلال زمن التردد الأساسي للزلزال بالجوسق وبدون استكمال الجوسق.**
**رقم ( ٥٢ ) قطاع في النموذج الرياضي للمئذنة، رقم ( ٥٣ ، ٥٤) شكل المئذنة خلال زمن التردد الثالث والرابع للزلزال.**
**رقم ( ٥٥ ) شكل المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية .**

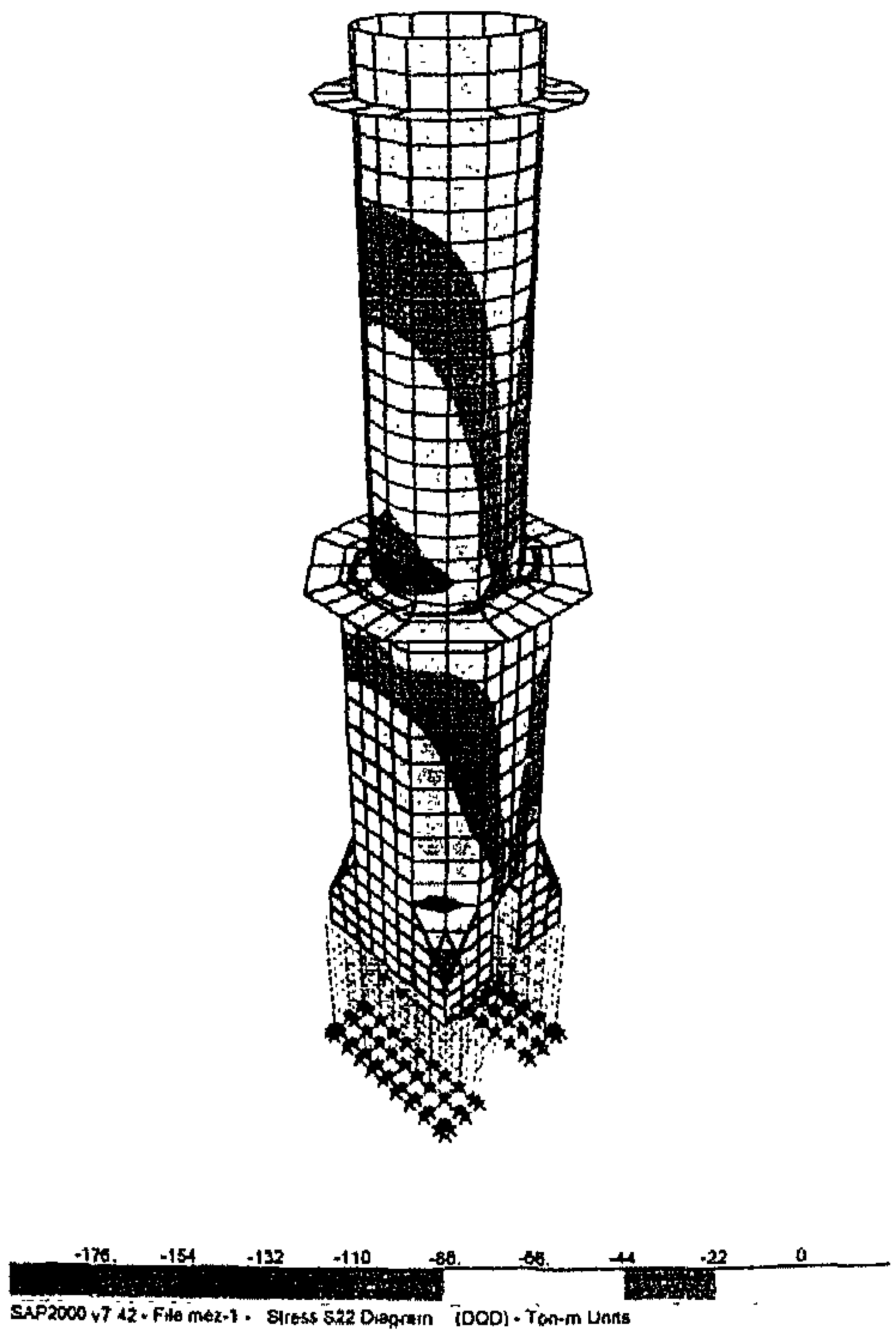
**(عمل الباحث)**



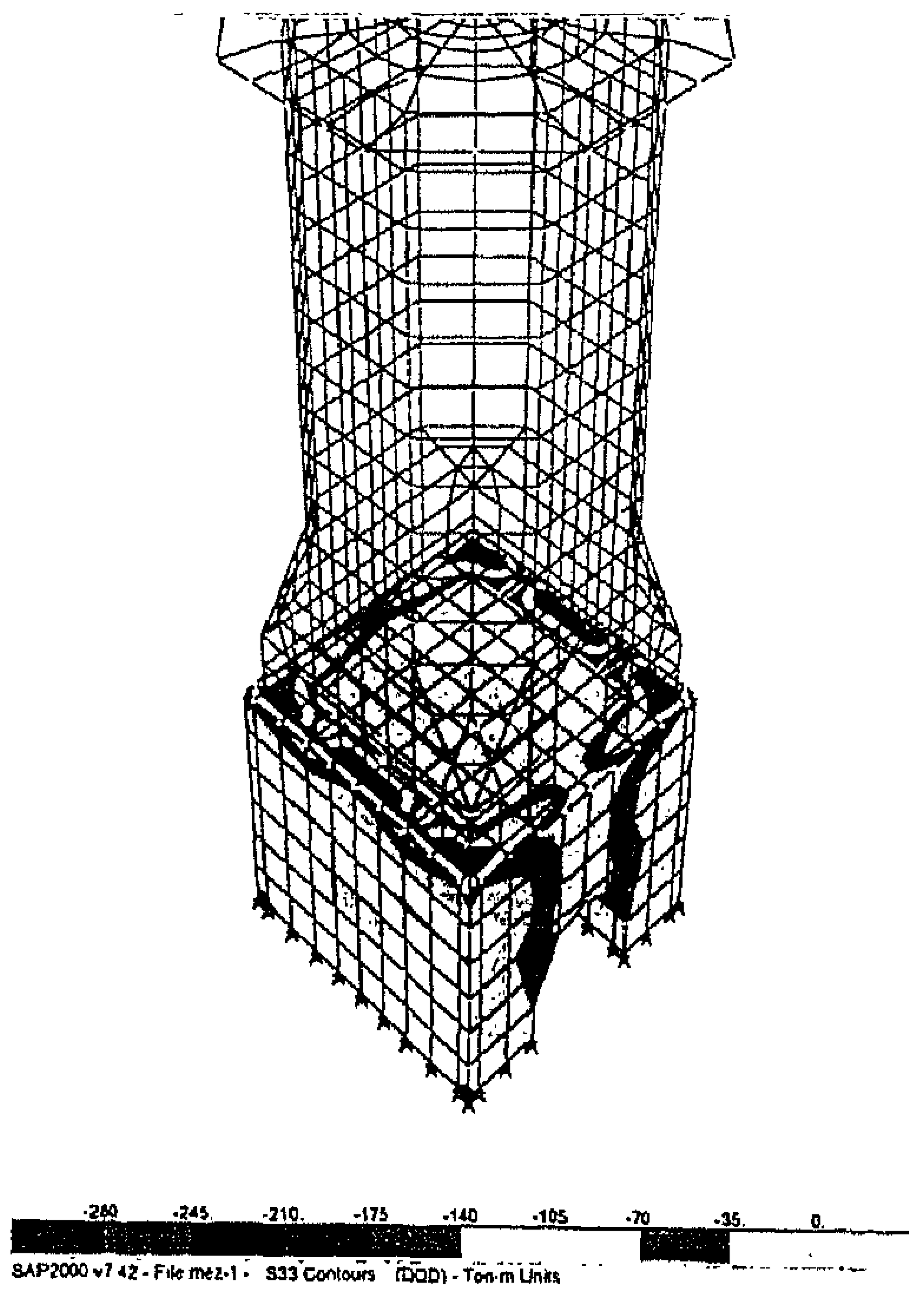
شكل رقم ( ٥٦ )



شكل رقم ( ٥٧ )




شكل رقم ( ٥٨ )

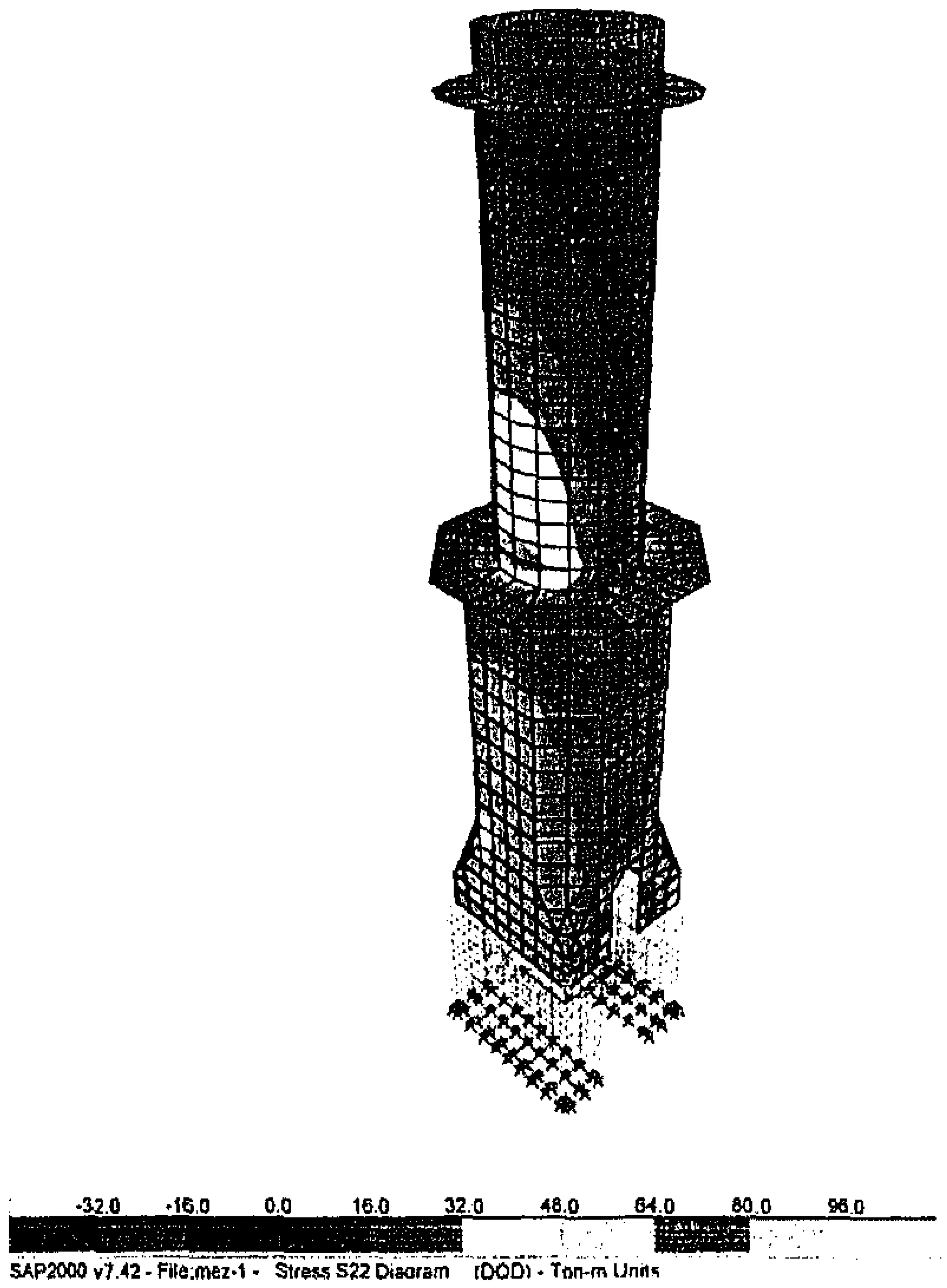



شكل رقم ( ٥٩ )

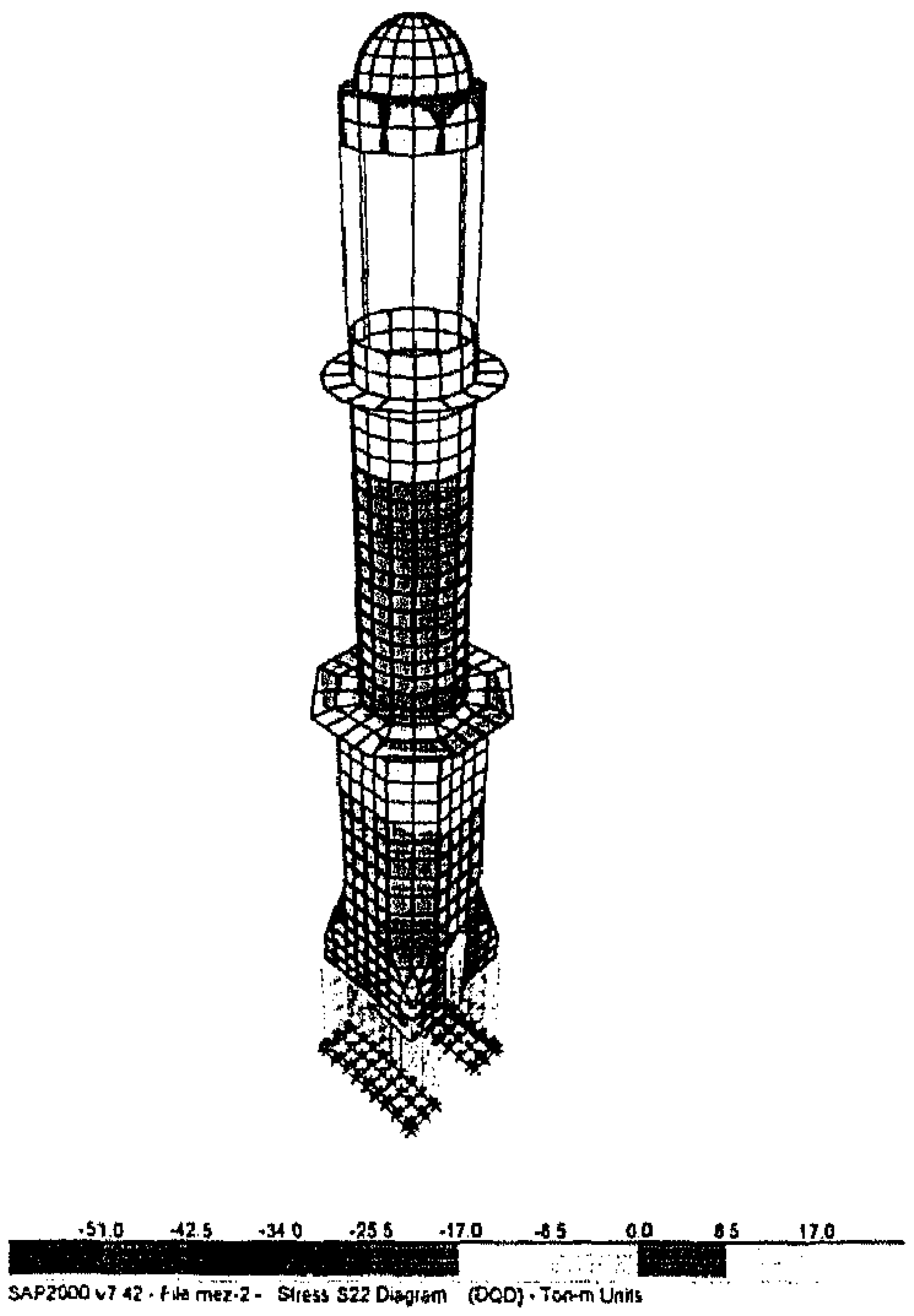
الأشكال من رقم ( ٥٦ ) إلي رقم ( ٥٧ ) توضح شكل المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية بالجوسق وبدون استكمال الجوسق.

الأشكال من رقم ( ٥٦ ) إلي رقم ( ٥٧ ) توضح يوضح الحد الأدني للإجهادات بالمئذنة وقاعدتها تحت تأثير الأحمال الرأسية وأحمال الزلازل.

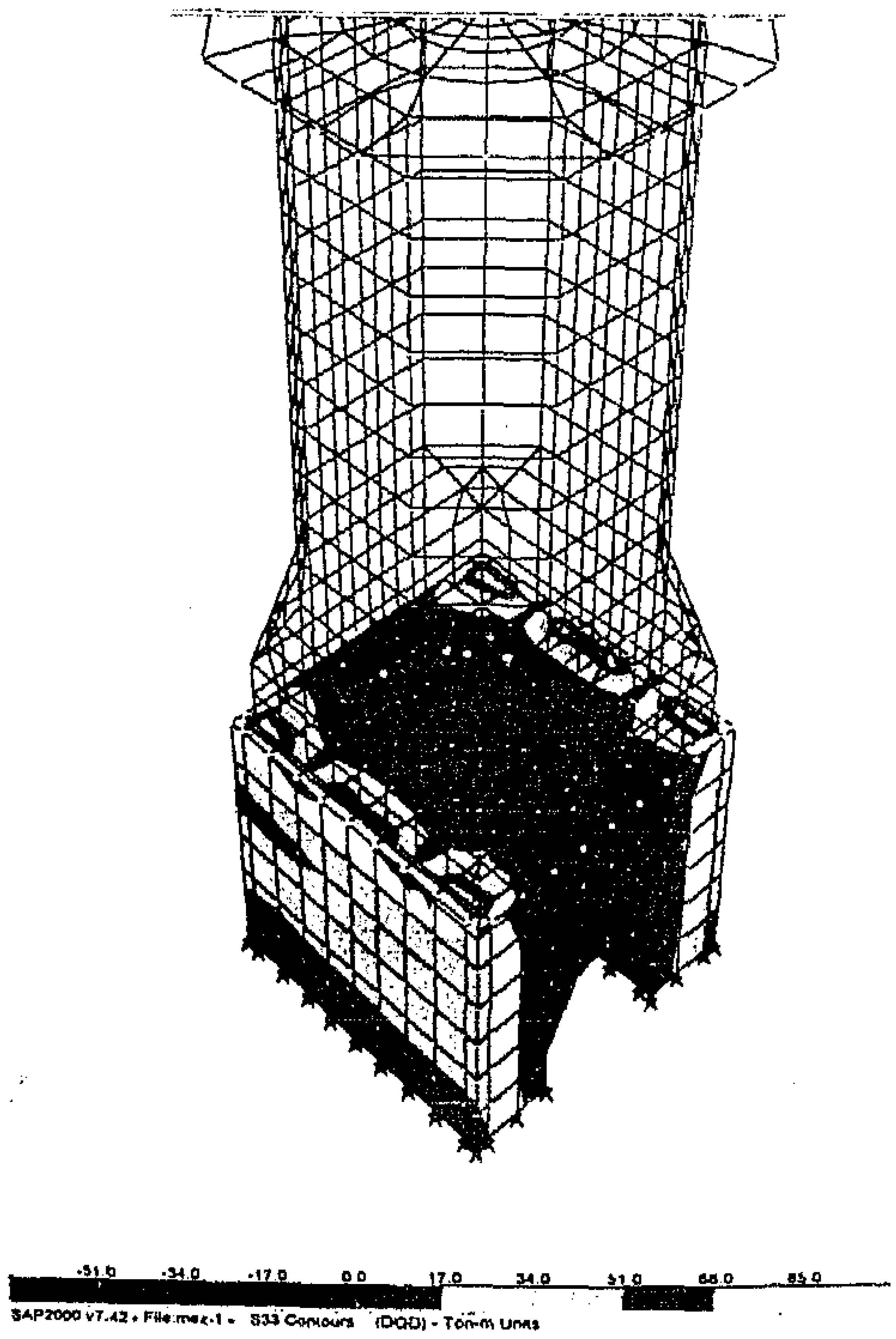
(عمل الباحث)



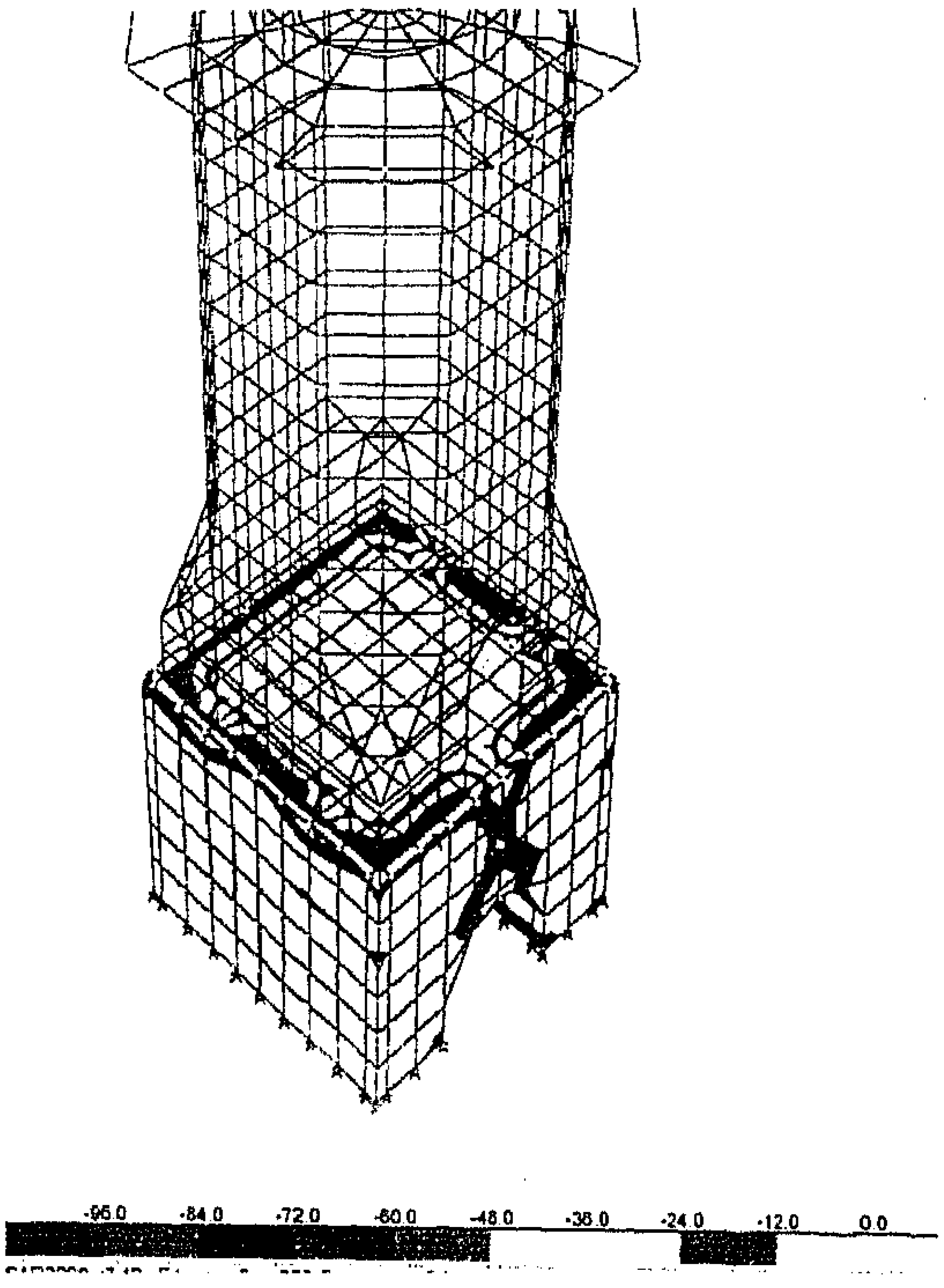

شكل رقم ( ٦٠ )




شكل رقم ( ٦١ )




شكل رقم ( ٦٢ )




شكل رقم ( ٦٣ )

**الأشكال رقم ( ٦٠ ، ٦١) توضح الحد الأقصى للإجهادات بالمئذنة بالجوسق وبدون استكمال الجوسق.**
**الأشكال رقم ( ٦٢ ، ٦٣) توضح الحد الأقصى للإجهادات بقاعدة المئذنة .**

**(عمل الباحث)**

الشافعى وتشمل دراسات المحيط الأثرى الدراسات التخطيطية والعمرانية والدراسات السكانية والاجتماعية والدراسات الاقتصادية وتقع مئذنة يشبك من مهدى فى منطقة الإمام الليث وهى منطقة مقابر ومدافن وقد تعرضت بعض هذه المقابر للتعديات والسكنى من قبل السكان بشكل عشوائى كما زحف العمران على هذه المنطقة وبنيت فيها بعض المساكن بشكل عشوائى وبارتفاعات غير متساوية من دور واحد أو دورين أو ثلاثة أدوار وسوف نلقى الضوء على الدراسات التخطيطية والعمرانية وكذلك الدراسات الاقتصادية نظراً لعشوائية المنطقة وافتقارها لكثير من الخدمات(١) .

## ١ـ الدراسات التخطيطية والعمرانية

تشمل دراسة محاور الحركة الرئيسية والفرعية المؤدية من وإلى منطقة الإمام الليث والمئذنة وكذلك دراسة حالة شبكات المرافق والخدمات العامة بالمنطقة .

### أـ محاور الحركة

تضم محاور الحركة أنواع الطرق وحالتها وطرق الوصول إليها وكذلك كثافة المرور وتوزيع انتظار السيارات بالمنطقة (٢).

### ١- أنواع الطرق

الطرق المؤدية إلى مئذنة يشبك من مهدى عادة طرق محورية تتفرع منها شوارع قصيرة ضيقة وحارات بشكل شبكى عشوائى نظراً لعشوائية مبانى المنطقة وبصفة عامة فإن الطرق الواسعة الكبيرة تعتبر قليلة فى المنطقة بينما توجد بكثرة الحارات والممرات الضيقة المتعرجة منتشرة فى المنطقة .

### ٢- حالات الطرق

أغلب الطرق الموجودة فى المنطقة غير ممهدة وخاصة الشارع الرئيسى المؤدى إلى المئذنة والذى يمتد أمام الواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث وهو شارع الغفارى حيث أنه طريق ترابى غير منتظم المنسوب حيث نجد أن هناك أجزاء منه ذات منسوب مرتفع نسبياً عن بقية الشارع نظراً لارتفاع طبقات الردم فى هذه المواضع ومن الطرق المتوسطة ذات المنسوب المتساوى إلى حد ما وكانت أسفلتية ولكن طبقة الإسفلت تأثرت إلى حد كبير وتحتاج إلى صيانة وإعادة تطبيق طبقة جديدة من الأسفلت وهى متمثلة فى شارع سيدى عقبة الموازى لشارع الأمام الليث وكذلك شارع الإمام الليث حيث يفتقد إلى وجود طبقة اسفلتية بالرغم من أنه ممهد إلى حد ما ومن الطرق الجيدة شارع عين الصيرة وهو طريق ممهد اسفلتى يتميز بكثافة مرورية وكذلك شارع الإمام الشافعى فهو شارع متسع اسفلتى تمر به السيارات واتوبيسات النقل العام وغير من وسائل المواصلات وهذا الطريق يصل ما بين منطقة السيدة عائشة ومنطقة الإمامين الإمام الشافعى والإمام الليث .

---

(١) علياء عبد العزيز محمود عبد الدايم : دراسة ترميم وصيانة المنازل الأثرية بمدينة القاهرة وإعادة توظيفها تطبيقاً على سراى المسافر خانه (العصر العثمانى ) ، رسالة ماجستير ، قسم ترميم الآثار ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠١ ، ص ٩٢

(٢) بسام محمد مصطفى : دراسة تأثير المحيط التخطيطى والعمرانى على التداعيات المعمارية للمبانى الأثرية وطرق ترميمها وصيانتها تطبيقاً على وكالة بازرعة ومحيطها (القاهرة الفاطمية ) رسالة ماجستير ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م ، ص ١٦٣

### ٣-محاور الوصول إلى الأثر

يوجد محورين رئيسين للوصول إلى مئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث المحور الأول هـو محـور شارع عين الصيرة بمنطقة عين الصيرة المجاورة للمئذنة وهذا الشارع متسع اسفلتى يربط ما بيـن منطقـة سور مجرى العيون والخيالة ومنطقة عين الصيرة ويتقاطع معه شارع الغفارى الذى يمتـد أمـام الواجهـة الرئيسية لمسجد الإمام الليث ونستطيع بواسطته الوصول إلى المئذنة والمحور الرئيسى الثانى هو شارع الإمام الشافعى وهو يمتد من منطقة السيدة عائشة حتى منطقة الإمام الشافعى ونستطيع الانتقال يميناً من هذا الشارع من أمام ضريح الإمام الشافعى إلى شارع الإمام الليث الموازى لهذا الشارع وينتهى هذا الشارع متقاطعاً مـع شارع الغفارى الذى يأخذنا إلى المئذنة .

### ٤- كثافة المرور وتوزيع انتظار السيارات

تتركز الكثافة المرورية فى منطقة الإمام الليث فى المحورين الرئيسين وهما بعيدان إلى حد ما عـن موقـع المئذنة وهما محور عين الصيرة ومحور الإمام الشافعى أما شارع الإمام الليث وشارع الغفارى فليست هنـاك كثافة مرورية فيهما وتساهم وسائل النقل والمواصلات فى محاور وشوارع المنطقة على التلوث الجوى فـى المنطقة مما يؤثر تأثيراً كبيراً على المئذنة ويتضح ذلك من خلال الطبقة السوداء الموجودة علـى الأسـطح الحجرية الخارجية للمئذنة كما أن أماكن انتظار السيارات تعتبر قليلة فى المنطقة حيث يوجد مكان للانتظـار أمام ضريح الإمام الشافعى وهو بعيد إلى حد ما عن المئذنة ومكان آخر فى نهاية شارع الغفارى عند تقاطعـه مع شارع عين الصيرة ، وتوضح الخريطة رقم (٩) محاور الوصول إلى مئذنة يشبك من مـهدى وحـالات الطرق وأنواعها وأماكن انتظار السيارات .

## ب ـ شبكات المرافق العامة

وتشمل شبكات المرافق العامة شبكات مياه الشرب ، شبكة إطفاء الحريق ، الصرف الصحى وكذلك التخلـص من النفايات الصلبة ( القمامة والمهملات) وذلك كما يلى

### (١) شبكة مياه الشرب

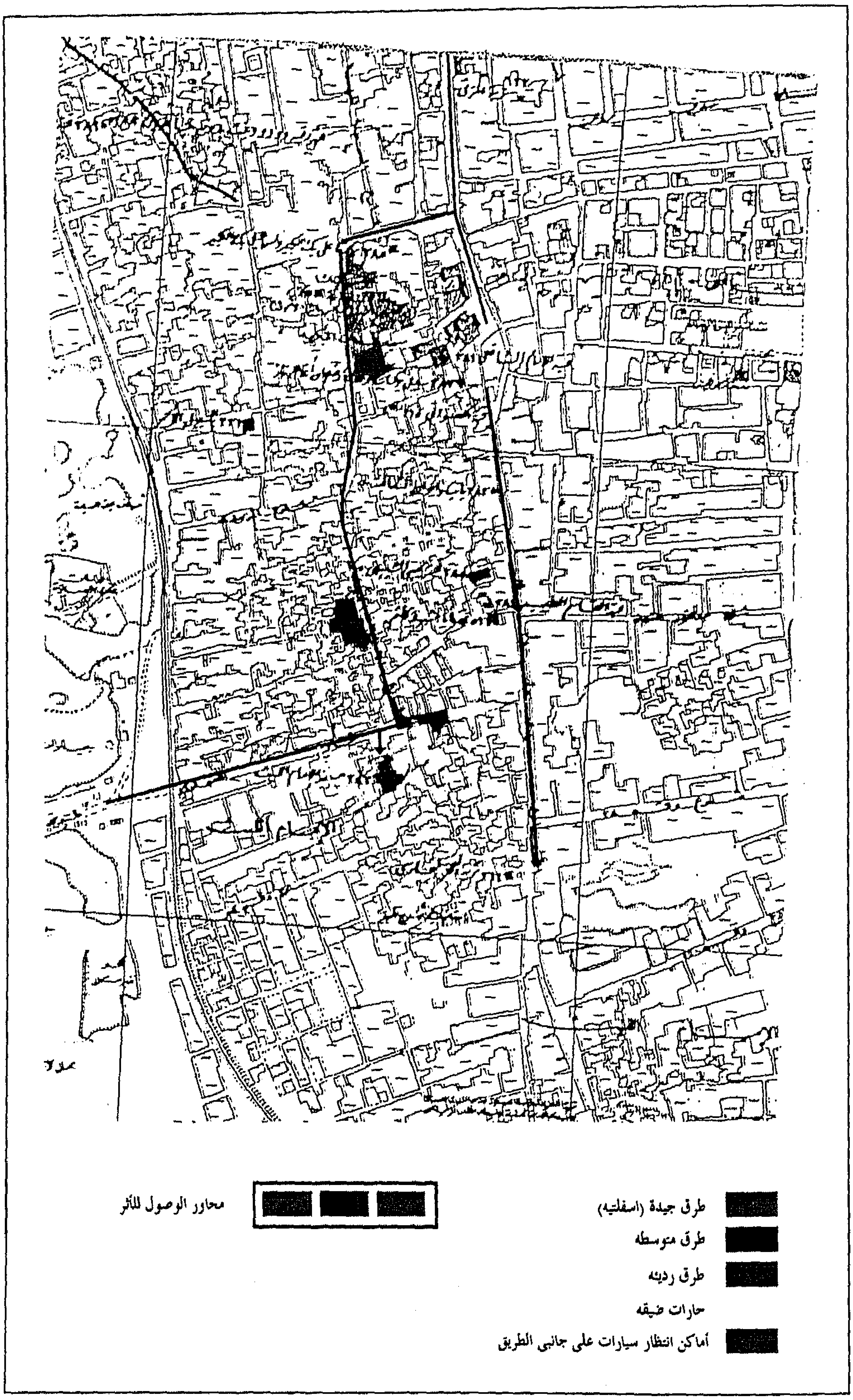
المنطقة بها شبكة داخلية للإمداد بالمياه تخدم المباني السكنية العشوائية بمنطقة الإمـام الليـث وهـى تكفـى احتياجات السكان إلى حد ما وتفى بالاغراض اليومية لاستهلاك المياه وأغلب أجزاء هذه الشبكة لمياه الشـرب وتفرعاتها تم عملها بالجهود الذاتية للسكان نظرا لعشوائية المنطقة وعدم وجود اهتمامات خدمية بها .

### (٢) شبكة إطفاء الحريق

لا توجد بالاماكن القريبة من المئذنة وهى منطقة الامام الشافعي ومنطقة الامام الليـث أى شـبكات لاطفـاء الحريق وهو ما يعرض الآثار الموجودة فى هذه المنطقة للخطر فى حالة حدوث حريق نظرا لصعوبة إطفائـه فى ظل غياب شبكة لإطفاء الحرائق ومن ناحية أخرى نجد أن هناك مبنى سكنى عشوائي إلى اليميـن مـن الواجهة الرئيسية لمسجد الامام الليث يجعل الوصول إلى المئذنة من خلال حارة صغـيرة ضيقـة لا يزيـد اتساعها عن ١٢٠ سم وهو الطريق الوحيد للوصول إلى المئذنة من جهة المسجد وهو لا يسمح بمـرور أى سيارات إلى موقع المئذنة وهى لذلك تعتبر غير مؤمنة ضد خطر الحريق وغيره .

### (٣) شبكة الصرف الصحي

تعتبر شبكة الصرف الصحي الموجودة قاصرة ومتهالكة وتحتاج إلى عمل مشروع للصرف الصحي ولكـن بالنسبة للمساكن العشوائية وهى الطابع المميز للمنطقة مع السكن بالتعدي على المقابر والاحواش حيث يتم




**خريطة رقم (٩) توضح محاور الوصول إلى المئذنة وحالات الطرق وأنواعها وأماكن إنتظار السيارات.**
**(عمل الباحث)**

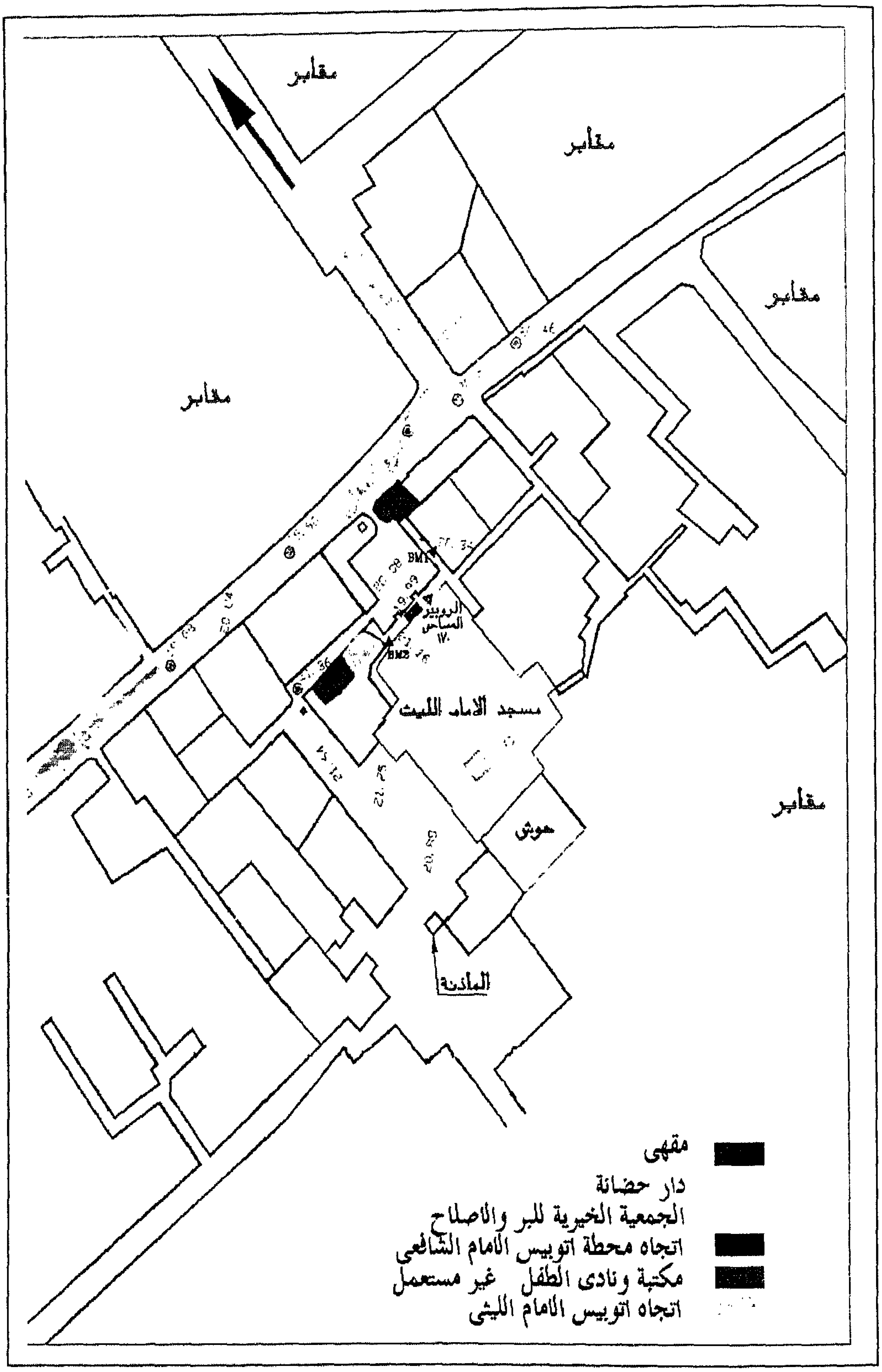
صرف المياه من خلال آبار يتم حفرها فى الأرض بشكل عشوائي و تتسرب هذه المياه إلى التربة وتؤدى إلى زيادة محتواها المائي بما تحمله هذه المياه من أملاح تساهم هى الأخرى فى اتلاف الاثار القائمة فى المنطقة ويتضح ذلك بشكل جلى من خلال قاعدة مئذنة يشبك من مهدى موضوع الدراسة حيث أنها مشيدة فوق التربة مباشرة ونجد أن الأملاح قد تبلورت بين مكونات الأحجار وأدت إلى تفككها وهشاشيتها وتآكلها بشكل كبير كما تساهم هذه المياه الخاصة بالصرف الصحي إلى جانب مياه عين الصيرة وقربها من المنطقة الواقعة بها المئذنة فى رفع منسوب المياه الأرضية فى هذه المنطقة .

## جـ - التخلص من النفايات الصلبة ( القمامة والمهملات )

اعتاد السكان فى هذه المنطقة الواقعة بها المئذنة على إلقاء المخلفات بالقرب من مساكنهم العشوائية فى الحارات والدروب أما بالنسبة للمحيط الموجود فيه المئذنة على وجه التحديد فقد تحول للأسف الشديد إلى مركزا لإلقاء النفايات الصلبة والقمامة والمهملات وكسر الأحجار ومخلفات عملية البناء بالقرب من المئذنة بل ملاصقا لها ومما زاد من صعوبة الأمر أنه لا يتم إزالة هذه القمامة بشكل دورى حتى تحولت إلى تلال ضخمة من أكوام النفايات والمهملات ومخلفات البناء بالاضافة إلى التخلص من بعض هذه الأكوام عن طريق حرقها فى مكانها الملاصق للمئذنة مما أدى إلى تكون طبقات كثيفة من السناج والحبيبات الكربونية الناتجة عن عملية الحرق على الأسطح الخارجية للمئذنة خاصة فى الممر المقبى ( الساباط ) والمملوء الآن بكسر الأحجار وأكوام المخلفات التى تكاد تخفيه عن الناظرين بل ان الكتل السفلية للأحجار أيضا تعرضت للحرق وربما ساهمت الحرارة الناتجة عن عملية الحرق فى حدوث تلف للأسطح الحجرية للمئذنة وموقع المئذنة يعتبر مثالا صارخا على العشوائية والاهمال للآثار وعدم مراعاة القيمة الفنية والأثرية والتاريخية لها من خلال عدم الاهتمام بمحيطها الأثري وإهماله وذلك كما يتضح من الصور أرقام (٤٣)،(٤٤) .

## د - الخدمات العامة

تعتبر منطقة الامام الليث فقيرة فى خدماتها وتنحصر هذه الخدمات فى وجود خدمة ترفيهية متمثلة فى مركز شباب الامام الليث الواقع بالقرب من عين الصيرة وهو يخدم سكان منطقة الامام الليث أما بالنسبة للخدمات الدينية فتعتبر متوفرة إلى حد ما من خلال عدد من المساجد الأثرية الموجودة بالمنطقة ومنها الامام الشافعي وزاوية زين الدين يوسف ومسجد الإمام الليث وبعض المساجد الأهلية الأخرى الحديثة التى أنشأها السكان بالمنطقة أو وزارة الأوقاف أما الخدمات التعليمية بالقرب من موقع المئذنة فلا توجد مدارس فى هذا الحيز وتوجد حضانة صغيرة لخدمة السكان بالمنطقة كما توجد مكتبة ونادى للطفل بالقرب من مسجد الإمام الليث وهو غير مستعمل الآن أما بالنسبة لوسائل النقل والمواصلات فتتركز بشكل رئيسى فى محطتين لأتوبيس النقل العام وهما محطة الأتوبيس فى شارع الإمام الشافعى وتأخذنا إلى منطقة السيدة عائشة ومنها إلى أى مكان بمدينة القاهرة والمحطة الثانية هى محطة أتوبيس الإمام الليث وتقع عند نهاية شارع الغفارى وتقاطعه مع شارع عين الصيرة وتنقلنا إلى منطقة الخيالة وسور مجرى العيون والملك الصالح ومنها إلى أى مكان بمدينة القاهرة بالإضافة لذلك توجد عدة مقاهى بالمنطقة ، وتوضح الخريطة رقم (١٠) أماكن مباني الخدمات العامة بمنطقة الإمام الليث التى تقع بها مئذنة يشبك من مهدى .




**خريطة رقم (١٠) توضح أماكن مبانى الخدمات العامة بمنطقة الإمام الليث المحيطة بمئذنة يشبك من مهدى.**
**(عمل الباحث)**

## هـ - دراسة الفراغات العمرانية

تشمل دراسة الفراغات العمرانية الأثاث العمرانى والتكوين البصرى للمنطقة وذلك كالتالى :-

### أولاً : الأثاث العمرانى بالمنطقة

يشتمل الأثاث العمرانى بالمنطقة على بعض أعمدة الإنارة وكذلك بعض الأشجار كما توجد بعض الأرصفة خاصة فى شارع الغفارى الذى يمر أمام المئذنة وفى المنطقة أمام الواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث وكذلك فى شارع الإمام الشافعى وهذه الأرصفة ينتشر عليها الباعة الجائلين وخاصة فى المنطقة أمام مسجد الإمام الشافعى كما توجد بعض الأكشاك فى المنطقة وهى أكشاك خشبية بسيطة على جوانب الطرق مخصصة لبيع بعض المنتجات .

### ثانياً : التكوين البصرى للمنطقة

يشمل التكوين البصرى للمنطقة عناصر التكوين البصرى والمشكلات البصرية للفراغات العمرانية بالمنطقة وذلك كالتالى:-

#### (١) عناصر التكوين البصرى

تشتمل عناصر التكوين البصرى على المسارات والمحاور والطرق الرئيسية أو الفرعية والثانوية وبالنسبة لمئذنة يشبك من مهدى نجد كما سبق ذكره وجود محورين رئيسيين يؤديان إلى المنطقة التى بها المئذنة وهى منطقة الإمام الليث وهما محور عين الصيرة ومحور الإمام الشافعى وهناك بعض الشوارع الأخرى الحيوية فى المنطقة والتى تعتبر مسارات تؤدى إلى المئذنة وهى شارع سيدى عقبة وشارع الإمام الليث وشارع الغفارى بالإضافة إلى وجود بعض الشوارع الثانوية والفرعية والحارات التى تربط بين هذه الشوارع والمسارات ، كما تشمل عناصر التكوين البصرى أيضاً العلامات المميزة Land Marks لتحديد اتجاه الحركة وتحديد الموقع للإنسان ومن هذه العلامات المميزة قبة ضريح الإمام الشافعى بما تحتوية قمتها من العشارى المعدنى وهو على شكل سفينة صغيرة توضع فيها الحبوب لإطعام الطيور وكذلك مدافن العائلة المالكة وتقع على شارع الإمام الليث المؤدى إلى مسجد الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى ولا تعتبر هناك علامات مميزة كثيرة فى المحيط الأثرى لمئذنة يشبك من مهدى لأن هذا المحيط فى الأصل هو عبارة عن منطقة مدافن الإمام الليث والتى تشغل الجزء الأكبر من هذا المحيط .

#### (٢) المشكلات البصرية للفراغات العمرانية بالمنطقة

اتضح من خلال الدراسة أن أهم تلك المشكلات هى التلوث البصرى من حيث عدم تجانس الطابع المعمارى للمساكن العشوائية التى تم عملها فى المناطق ما بين المدافن حتى أن بعض هذه المساكن التى تتخذ كمأوى تم عملها من الصفيح والجدران غير محكمة البناء مثل المسكن الملاصق لمئذنة يشبك من مهدى لابد من إزالته وهو من جدران ضعيفة غير محكمة من الطوب الأحمر وسقفه من الصفيح كما ينتشر فى المساكن العشوائية التى تم بناءها عدم احترام ارتفاعاتها مع ارتفاعات الأثر حيث تتراوح ارتفاعاتها ما بين دور ودورين وثلاثة أدوار إلى جانب ذلك التنافر اللونى حيث أن بعض هذه المبانى طبقت عليها طبقات من الملاط وأخذت ألوان متنافرة مختلفة لا تتلائم مع طبيعة لون الأحجار المشيد فيها مئذنة يشبك من مهدى ومسجد الإمام الليث وغيرها من المبانى الأثرية فى المنطقة إلى جانب ذلك توجد اشغالات فى الطرق بفعل انتشار نشاط تربية الماعز والخراف وعرضه بشكل عشوائى على الأرصفة وجوانب الطرق وبصفة خاصة شارع الغفارى الذى

يمر أمام الواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث بالإضافة إلى وجود كثير من الباعة الجائلين لعرض بعض السلع ومستلزمات الأنشطة الحرفية والعدد وكذلك تبرز المعروضات والسلع على الأرصفة حيث تمثل اشغالات وتعديات على هذه الأرصفة مما يعوق حركة المشى عليها وذلك من قبل بعض المحلات التجارية المنتشرة بالمنطقة ، يضاف إلى ذلك فوضى اللافتات والإعلانات والموجودة بشكل صارخ على جدران المبانى بالمنطقة وبصفة خاصة المنطقة أو الساحة الموجودة أمام مسجد الإمام الليث حيث توجد اللافتات والإعلانات من القماش والورق وبشكل مكثف مما يسبب تشويهاً بصرياً للبانوراما الأثرية للمنطقة .

## و - دراسات الكتلة البنائية بالمحيط الأثرى للمئذنة

تشمل هذه الدراسات التعرف على الحالة الإنشائية للمبانى الأثرية وكذلك المبانى القائمة غير الأثرية وذلك من حيث التعرف على المبانى الأثرية والتاريخية بالمنطقة واستعمالات المبانى والحالة الإنشائية لها ومواد البناء المستخدمة بالإضافة إلى دراسة ارتفاعات المبانى الموجودة وذلك كالتالى :

### ١- المبانى الأثرية بالمنطقة

تحتوى المنطقة على بعض المبانى الأثرية والمتمثلة فى مسجد الإمام الليث ومدافن العائلة المالكة ( مدافن أسرة محمد على ) وضريح الإمام الشافعى وزاوية زين الدين يوسف وإن كانت بعيدة إلى حد ما عن موقع المئذنة .

### ٢- استعمالات المبانى

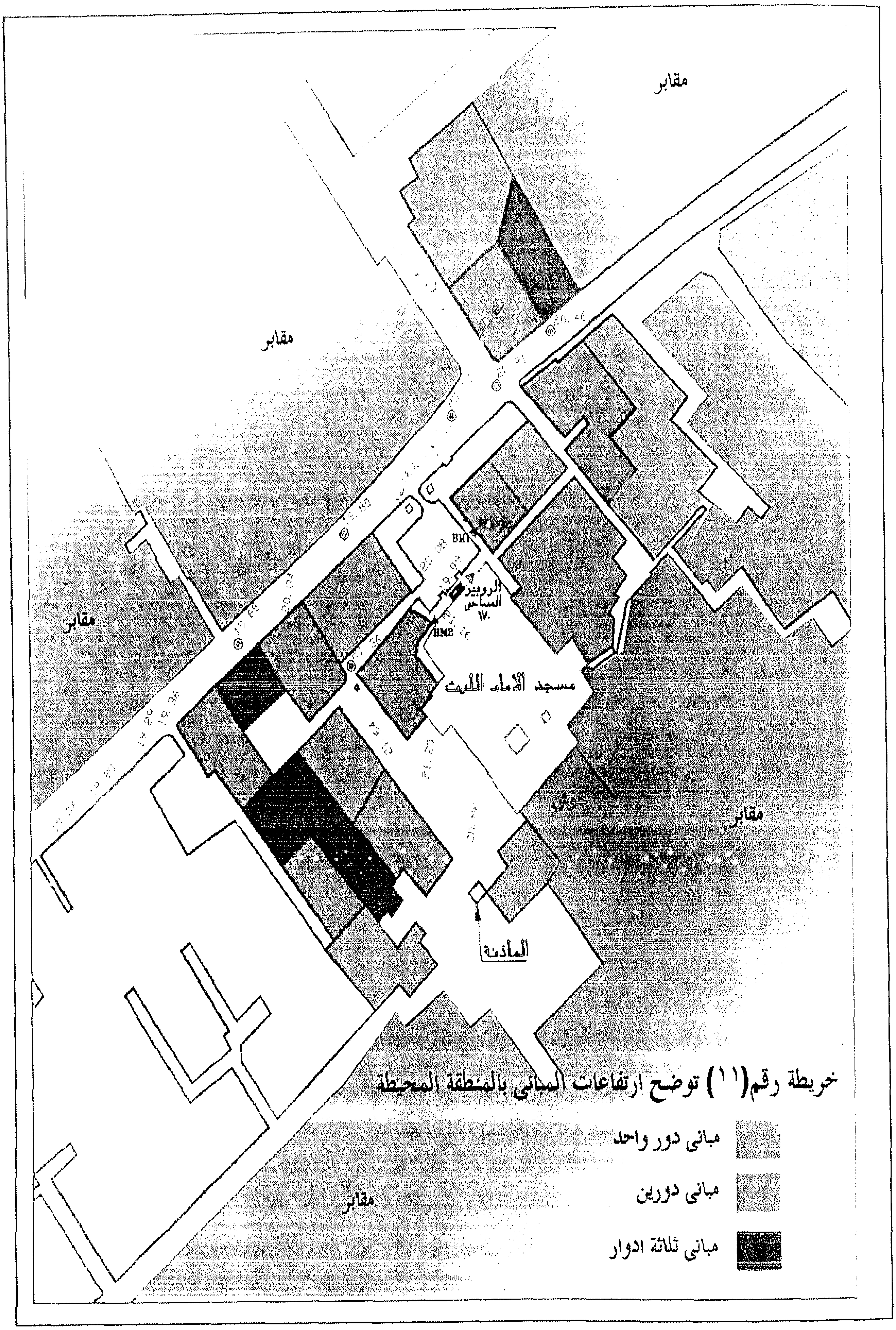
تستعمل المبانى العشوائية الموجودة فى المنطقة بشكل تقليدى للسكن وتختلف من حيث أساليب بناءها وتكوينها المعمارى ومساحاتها وإرتفاعاتها مع تخصيص الدور الأرضى فى الكثير من هذه المبانى للأنشطة التجارية حيث نجد بعض المقاهى فى الدور الأرضى لبعض المبانى وكذلك ورش النجارة وورش صناعية وحرفية فى مساكن أخرى ومحلات تجارية منتشرة أيضاً كما يوجد مصنع بلاط فى المنطقة فى شارع الإمام الليث ومصانع لتصنيع درجات السلم التى تستخدم فى المساكن و فى النزول إلى المدافن .

### ٣- حالات المبانى

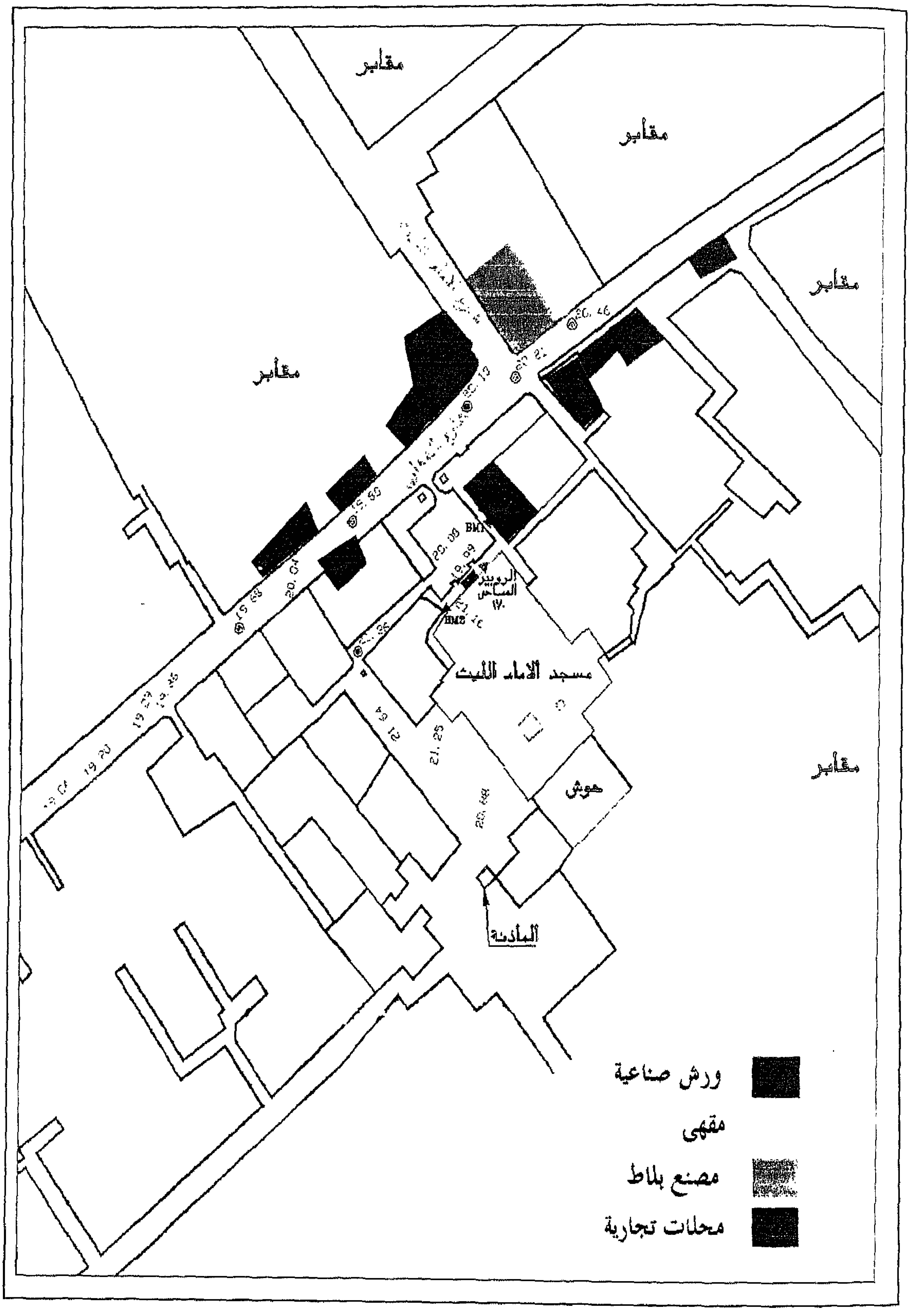
حالات المبانى بصفة عامة تكون فى حالة جيدة أو متوسطة أو رديئة وحالات المبانى فى الوسط المحيط بالمئذنة رديئة وأغلبها عشوائى من حيث أسلوب البناء والتصميم المعمارى وبعضها متوسط ومعظم هذه المبانى حالتها الإنشائية غير جيدة حيث بنيت على أساسات شريطية غير عميقة بحوائط حاملة بدون أعمدة إلا فى القليل منها حيث أن أغلبها مبانى تقليدية وليست هيكلية .

### ٤- ارتفاعات المبانى

سببت هذه المبانى من حيث اختلاف ارتفاعاتها حدوث تشويهاً بصرياً حيث لا تتوافق مع طبيعة الأثر وتتراوح ارتفاعات هذه المبانى ما بين دور واحد ودورين وثلاثة أدوار وتوضح الخريطة رقم (١١) ارتفاعات المبانى بالمنطقة المحيطة بالمئذنة ، أما من حيث الأنشطة الاقتصادية بالمنطقة فتشمل أنشطة تجارية وصناعية وحرفية حيث توضح الخريطة رقم (١٢) مواقع الأنشطة الصناعية والتجارية والحرفية بالمنطقة ، والسكان فى هذه المنطقة أغلبهم حرفيون يمارسون الأنشطة الحرفية والصناعية إلى جانب النشاط التجارى وهناك تغيرات مستمرة فى إعدادهم وكثافتهم ويفرض ذلك الطبيعة العشوائية للمنطقة من حيث السكن حيث يخرج منها ويعود إليها السكان بشكل دائم ومستمر .


مقابر
مقابر
مقابر
مسجد الإمام الليث
المئذنة
مقابر
مقابر
خريطة رقم(١١) توضح ارتفاعات المباني بالمنطقة المحيطة
مباني دور واحد
مباني دورين
مباني ثلاثة ادوار

(عمل الباحث)




**خريطة رقم (١٢) توضح مواقع الأنشطة الصناعية والتجارية بمنطقة مئذنة يشبك من مهدى وجامع الإمام الليث.**

## (٢) الدراسات التجريبية والمعملية لمواد وطرق علاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى

## أولاً : الدراسة التجريبية المعملية لتنظيف وإزالة السناج

توجد على الأسطح الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى طبقات كثيفة من السناج والحبيبات الكربونية بفعل حرق النفايات والمخلفات والمهملات الخاصة بالتجمعات السكانية العشوائية بمنطقة الإمام الليث إلى جوار المئذنة فتكونت هذه الطبقات من السناج على أسطح المئذنة خاصة فى منطقة الساباط (الممر المقبى) وقاعدة المئذنة المربعة الشكل والعقد الذى يعلو الساباط بقاعدة المئذنة وكذلك الأجزاء السفلى من المستوى الثانى من المئذنة والذى يأخذ الشكل المثمن كما يتضح من الصور أرقام (٤٢) ، (٤٤) .

### ١- التنظيف باستخدام المحاليل الكيميائية

يوجد العديد من المركبات الكيميائية والمذيبات العضوية والمنظفات التى يمكن استخدامها فى إزالة طبقات السناج والحبيبات الكربونية ومنها المذيبات العضوية مثل الكحول الإيثيلى والأسيتون والتراى كلور وإيثيلين بالإضافة إلى البنزين ومحلول الأمونيا ومن المنظفات تستخدم الصابون المتعادل ولزيادة فاعلية وكفاءة هذه المذيبات والمنظفات من الممكن أن تخلط مع بعضها البعض بنسب معينة لإعطاء تأثير قوى وفعال فى عملية التنظيف والإزالة لطبقات السناج إلى جانب إمكانية استخدام كل منها بمفردة أيضاً .

### ٢- التنظيف باستخدام كمادات عجائن التنظيف :

من أساليب التنظيف التى تستخدم بنجاح لإزالة طبقات السناج والعوالق والإتساخات والتكلسات التى تعلو أسطح الآثار الحجرية التنظيف باستخدام كمادات المواد الكيميائية حيث يتم تطبيقها على الأسطح الحجرية المراد تنظيفها على هيئة عجينه ، ويعتمد الأساس العلمى للتنظيف باستخدام كمادات عجائن التنظيف على وجود وسط حامل للمركبات الكيميائية التى يتم خلطها بنسب معينة لعمل تأثير فعال لإزالة التكلسات والعوالق وطبقات السناج لفترة طويلة تصل إلى ٢٤ ساعة لنستطيع إزالة هذه الطبقات ، ومن المواد الوسيطة الحاملة للكمادات مادة كربوكسى ميثيل سيلولوز Carboxy Methyl Cellulose وتعطى هذه المادة قوام جيلاتينى عند ذوبانها فى الماء وقد قام Paulo Mora و Loura Mora بتطوير إحدى هذه الكمادات والتى عرفت باسم كمادة مورا Mora Pouttice وذلك فى معهد الترميم بروما ، ومن المواد الأخرى الحاملة للكمادات معادن الطفلة Clay Minerals مثل معادن السيبيولايت والأتابولوجيت والبنتونيت ، وقد تم إجراء دراسة تجريبية معملية لاختبار كفاءة المحاليل المختلفة فى عمليات إزالة السناج لاختيار أفضلها لتطبيقه عملياً فى علميات الإزالة والتنظيف لطبقات السناج من على أسطح مئذنة يشبك من مهدى وذلك كالتالى :

#### أولاً : إعداد نماذج الاحجار

تم إعداد ثلاثة بلاطات من الحجر الجيرى بمقاسات ٥×٣٠×٣٠ سم حيث تم عمل طبقة من السناج عليها مماثلة للطبقات الموجودة على الأسطح الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى كما تم عمل تجارب التنظيف عليها باستخدام المحاليل الكيميائية وباستخدام طريقة كمادات عجائن التنظيف كما سيتم توضيحه .

## ثانياً : عمل طبقات السناج صناعياً على البلاطات الحجرية

تم عمل طبقة من السناج صناعياً على أسطح البلاطات الحجرية بطريقة تماثل إلى حد ما نفس الطريقة التى تكونت بها طبقات السناج الكثيفة على السطح الحجرى لمئذنة يشبك من مهدى وهى تعرض المئذنة لحرق النفايات والقمامة بجوارها حيث تم ذلك بواسطة حرق بعض المهملات وتعريض أسطح البلاطات الحجرية لها وكذلك تعريضها للحرارة الناتجة عن عملية الحرق وتم تكرار هذه العملية عدة مرات حتى تم الحصول على طبقة من السناج على أسطح البلاطات الحجرية كما تم تعريضها للحرق، كما حدث مع السطح الحجرى لمئذنة يشبك من مهدى وتوضح الصورة رقم (٩٣) النماذج الحجرية الثلاثة بعد عمل طبقة السناج عليها وإعدادها للتجربة .

## ثالثاً : الطرق المستخدمة لتنظيف طبقات السناج

تم استخدام الطريقتين السابق الإشارة إليهما وهما طريقة المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية والتنظيف باستخدام كمادات عجائن التنظيف وذلك كالتالى

### أ- المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية

من خلال ما تم استخدامه فى الأبحاث العلمية السابقة لإزالة وتنظيف طبقات السناج من على الأسطح الحجرية الأثرية ومن خلال الصفات والخواص التى تميز بعض المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية من حيث قدرتها على إذابة وإزالة طبقات السناج فقد تم إعداد ثمانية محاليل كيميائية ومذيبات عضوية لاختبار مدى كفاءتها فى تنظيف طبقات السناج من على أسطح الأحجار الجيرية وهى مكونة من محاليل كيميائية ومذيبات عضوية مختلفة وهى :-

- محلول الأمونيا
- الصابون المتعادل
- البنزين
- الكحول الإيثيلى
- الطولوين
- الأسيتون
- الترای كلوروإيثيلين .

حيث تم استخدامها إما منفصلة بشكل مستقل عن بعضها البعض فى بعض الحالات واستخدامها كخليط مع بعضها البعض بنسب معينة فى حالات أخرى .

ويوضح الجدول رقم (٣٥) المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية المستخدمة ونسبها المختلفة .

**جدول رقم (٣٥) يوضح المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية المستخدمة فى تنظيف طبقات السناج من على أسطح بلاطات الحجر الجيرى**

| م | الرمز | المكونات | النسب على الترتيب |
|---|---|---|---|
| ١ | A | كحول إيثيلى + طولوين + أسيتون + ترای كلوروإيثيلين | ٢ : ١ : ٢ : ١ |
| ٢ | B | صابون متعادل + محلول أمونيا + ماء | ٥ : ٢ : ١٠٠ |
| ٣ | C | ترای كلوروإيثيلين | نقى |
| ٤ | D | طولوين + أسيتون | ١ : ٢ |
| ٥ | E | طولوين + كحول إيثيلى + أسيتون | ١ : ١ : ١ |
| ٦ | F | ترای كلوروإيثيلين + بنزين | ١ : ٢ |
| ٧ | G | أسيتون | نقى |
| ٨ | H | كحول إيثيلى | نقى |

وقد تم تقسيم بلاطتين حجريتين من الثلاثة إلى ٤ أجزاء لكل منها للحصول على ثمانية أجزاء لتطبيق الثمانية محاليل عليها كما يتضح من الصورة رقم (٩٣) وقد تم إجراء عملية التنظيف على البلاطات الحجرية باستخدام فرر معدنية ملفوف عليها قطع من القطن فى صورة تنظيف موضعى وفى صورة كمادات من طبقات من القطن بها المحلول الكيميائى المستخدم للتنظيف واستمرت هذه العملية حتى تم تنظيف المناطق الثمانية بالبلاطتين الحجريتين وتم الحصول على نتائج مختلفة لعملية التنظيف صورة رقم (٩٤) .

## ب- التنظيف بكمادات عجائن التنظيف :

تتميز معادن الطفلة مثل الأتابولوجيت Attapulgite والسيبيولايت Sepiolite والبنتونيت والذى يتم تصنيعه فى مصر بأنها تعطى وسطاً جيداً كمادة حاملة للمكونات الكيميائية لكمادات التنظيف حيث أن التركيب البنائى لهذه المعادن يجعلها قادرة على استيعاب كميات من الماء وتستطيع معادن الطفلة امتصاص الأملاح والأتربة والعوالق وتلتصق على سطحها عند جفاف الكمادة وكذلك طبقات السناج الموجودة على الأسطح ويتم التطبيق عن طريق وضع طبقة رقيقة مستوية على سطح الأحجار المراد تنظيفها وبها المكونات الكيميائية والتى من الممكن أن تكون :-

- ٢٥ جرام يوريا Urea
- ١٠ مللى جليسرول Glycerol
- ٥٠٠ مللى ماء نقى Water

حيث تضاف لها كمية كافية من البنتونيت أو الأتابولوجيت أو السيبيولايت على أن يتم ترطيب الأسطح المراد تنظيفها أولاً بواسطة رذاذ الماء قبل تطبيق الكمادة ثم يتم تطبيقها كما ذكرنا على هيئة طبقة سطحية رقيقة يتم تغطيتها بواسطة رقائق البولى إيثيلين وتترك لمدة ٢٤ ساعة ثم يتم إزالتها ميكانيكا ولا تصلح هذه الكمادة للاستخدام فى حالة الضعف الشديد للأسطح الأثرية حيث قد تتسبب عملية إزالة الكمادة ميكانيكياً فى حدوث تلف للأسطح كما أنه من الممكن أن تسبب هذه الطريقة تشويهاً لونياً للأسطح بفعل بقايا الكمادة التى تتخلل المسام والتى تتطلب لإزالتها استخدام كميات كبيرة من الماء قد تسبب تلفاً أيضاً فى حالة وجود أملاح قابلة للذوبان فى الماء ، من الكمادات الأخرى التى تستخدم فى صورة عجينه والتى تعطى نتائج جيدة كمادة مورا Mora Poultice وقد تم إجراء اختبار تنظيف طبقة السناج عليها حيث تم إعداد إحدى البلاطات الثلاثة للتنظيف بواسطة كمادة مورا حيث تم عمل طبقة السناج الصناعى عليها كما يتضح من الصورة رقم (٩٣) وكمادة مورا تستخدم لإزالة العوالق والتكلسات وطبقات السناج من على الأسطح الحجرية والكمادة تعتمد بصورة أساسية على مادة كربوكسى ميثيل سيليولوز Carboxy Methyl Cellulose والتى تعطى قوام جيلاتينى عندما تذوب فى الماء وتتكون كمادة مورا من المكونات الآتية :-

- ٦٠ جرام بيكربونات أمونيوم .
- ٦٠ جرام بيكربونات صوديوم .
- ٢٥ جرام حمض [EDTA] Ethylene Di- Amine Tetra – Acetic Acid
- ١٠ جرام مطهر فطرى مثل سيتافلون Cetavlon
- ٦٠ جرام كربوكسى ميثيل سيليولوز .

يتم إذابة هذه المكونات فى لتر ماء وتعطى بيكربونات الصوديوم والأمونيوم درجة حموضة PH=7.5 وهذه الكمادة ذات قوام جيلاتينى نقى وشفاف وتطبق على هيئة عجينه على الأسطح المراد تنظيفها بعد ترطيبها بالماء عن طريق فرشاه أو سكينة بالته بسمك من ٣-٤ ملليمتر وقد تم تطبيقها على سطح البلاطة الحجرية كما يتضح من الصورة رقم (٩٥) ثم تم تغطيتها فى الحال بعد إجراء علمية التطبيق بواسطة طبقة رقيقة من البولى إيثيلين وذلك حتى لا تتعرض للجفاف كما يتضح من الصورة رقم (٩٦) حيث أنه من الصعب إزالة مكونات الكمادة عند تعرضها للجفاف ويبلغ زمن التطبيق حوالى ٢٤ ساعة ومن الممكن تكرارها أكثر من مرة وبعد تمام عملية التنظيف يتم إزالة مكونات الكمادة من على السطح ثم يتم شطف السطح بقليل من الماء وبشكل موضعي لإزالة بقايا الكمادة ومن مميزات هذه الكمادة أنها آمنة كيميائياً إذا تم ضبط نسب مكوناتها كما أنها تجنبنا استخدام كميات كبيرة من الماء لعملية التنظيف ويجب عدم استخدامها على الأسطح الضعيفة أو التى بها تقشرات حتى لا تسبب تلف السطح الحجرى عند إزالة مكونات الكمادة .

## رابعاً : نتائج الدراسة

- أعطى المحلول (A) والمكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والأسيتون و الترای كلورو إيثيلين بالنسب ٢ : ١ : ٢ : ١ على الترتيب أفضل النتائج فى تنظيف طبقة السناج وإزالتها وذلك فى المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية التى تم استخدامها يليه المحلول (D) والمكون من الطولوين والأسيتون بنسبة ١ : ٢ على الترتيب ونفسر ذلك بأن الطولوين مع الأسيتون له فاعلية عالية فى إزالة طبقات السناج بينما تزداد هذه الكفاءة والفاعلية عند إضافة الكحول الإيثيلى والترای كلور وإيثيلين كما حدث فى المحلول (A) بينما أعطت بقية المحاليل نتائج متدرجة من حيث إزالة طبقة السناج ولكن أقل كفاءة من المحلولين (A) و(D) ويوضح الجدول رقم (٣٦) نتائج التنظيف باستخدام المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية لطبقة السناج وتوضح الصورة رقم (٩٧) البلاطات الحجرية بعد انتهاء عملية التنظيف .

**جدول رقم (٣٦) يوضح نتائج تنظيف طبقة السناج باستخدام المحاليل الكيميائية والمذيبات العضوية**

| م | الرمز | المكونات | النسب على الترتيب | درجة التنظيف |
|---|---|---|---|---|
| ١ | A | كحول إيثيلى + طولوين+اسيتون + ترای كلور وإيثيلين | ٢ : ١ : ٢ : ١ | ×××× |
| ٢ | B | صابون متعادل + محلول أمونيا + ماء | ٥ : ٢ : ١٠٠ | ××× |
| ٣ | C | ترای كلورو إيثيلين | نقى | ××× |
| ٤ | D | طولوين + اسيتون | ١ : ٢ | ×××× |
| ٥ | E | طولوين + كحول إيثيلى + اسيتون | ١ : ١ : ١ | ×× |
| ٦ | F | ترای كلور وإيثيلين + بنزين | ١ : ٢ | ×× |
| ٧ | G | أسيتون | نقى | × |
| ٨ | H | كحول إيثيلى | نقى | × |

**ملاحظات** ×××× **ممتاز** ××× **جيد**

×× **متوسط** . × **ضعيف**

- أعطت كمادة مورا نتيجة جيدة فى إزالة طبقة السناج وللحصول على كفاءة عالية وإزالة كاملة لطبقة السناج باستخدام كمادة مورا يتم إتباعها باستخدام المحلول (A) لإزالة أى بقايا لطبقة السناج من على السطح الحجرى ويمكن استخدام كمادة مورا ثم محلول (A) وذلك فى الأماكن القوية من الأسطح الحجرية بمئذنة يشبك من مهدى والأماكن التى تحتوى على طبقات كثيفة من السناج لأنها تحتاج لبقاء المواد الكيميائية لفترة طويلة وهذا ما يتحقق مع استخدام كمادة مورا أما المناطق التى تحتوى على طبقة سناج غير كثيفة بمئذنة يشبك من مهدى فيتم الاكتفاء بتنظيفها باستخدام المحلول (A) أو المحلول (D) حسب الحالة .

## ثانياً : الدراسة التجريبية المعملية لتقييم المواد المستخدمة فى عزل وتقوية الأحجار والمونات بمئذنة يشبك من مهدى

تعانى المآذن الأثرية ومنها مئذنة يشبك من مهدى من مظاهر تلف متعددة أهمها تآكل وتفتت الطبقات السطحية من كتل الأحجار بفعل الرطوبة الجوية والتلوث الجوى والرياح وكذلك المياه الأرضية وما تحمله من محاليل ملحية تصعد إلى جدران المآذن بفعل الخاصية الشعرية وتتبلور بين مكوناتها مما يؤدى إلى انفصال طبقاتها وكذلك تحلل وتفكك وهشاشية ثم فقدان المونة الرابطة بين كتل الأحجار مما يدعو إلى ضرورة القيام بعزل بناء المئذنة عن مصدر المياه الأرضية المشبعة بالأملاح باستخدام المادة المناسبة إلى جانب ذلك لابد من تقوية الطبقات السطحية والبنية الداخلية للأحجار المستخدمة فى بناء المئذنة وكذلك المونات التالفة مع إجراء التجارب المعملية اللازمة لاختيار أنسب المونات لاستخدامها فى عمليات الترميم المختلفة للمئذنة ويوجد العديد من البوليمرات المخلقة صناعياً والمستخدمة فى أغراض التقوية والعزل للمبانى الأثرية الحجرية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن ولكن لابد من إجراء الاختبارات المعملية للتحقق من مدى كفاءتها وصلاحيتها لأعمال التقوية والعزل واختيار أفضلها والتأكد من مدى ثباتها ومقاومتها للعوامل الجوية والبيئية المحيطة بالمئذنة حتى لا تؤدى إلى المزيد من التلف للمئذنة ولتحقيق هذا الهدف تم إعداد عينات من الأحجار الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى والمونة المستخدمة فى عمليات البناء بنفس مكوناتها ونسبها التى أمكن التعرف عليها بواسطة التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction وكذلك تم عمل ٩ خلطات من المونات لمقارنتها بالمونة المستخدمة أساساً فى بناء المئذنة واختيار أنسب مونة من هذه المونات لاستخدامها فى أعمال الترميم مع دراسة تأثير البوليمرات المختلفة على خواصها سواء الفيزيائية والميكانيكية إلى جانب اختبار مدى كفاءتها وثباتها ضد تأثير عوامل التقادم الصناعى وقد تمت هذه الاختبارات فى المراحل الآتية :-

### أولاً : إعداد العينات

#### ١- عينات الحجر الجيرى

تم الحصول على قطع عشوائية مختلفة المقاسات ناتجة من عمليات الترميم السابقة وتم قطعها وتسويتها وإعدادها على شكل مكعبات منتظمة مقاساتها فى حدود ٤×٤×٤ سم ولم نستطع الحصول على مكعبات أكبر من ذلك لعدم توفر كتل أكبر حيث سيتم استخدامها فى عمليات التقوية والتقييم للبوليمرات المختلفة .

## ٢- عينات المونات :

أ- تم إعداد تسعة عينات من المونات بتركيبات ونسب مختلفة لاختبار خواصها الفيزيائية والميكانيكية واختبار مدى تأثير البوليمرات المختلفة فى خواصها لاختيار أفضلها وأنسبها للاستخدام فى عمليات ترميم المئذنة ويوضح الجدول رقم (٣٧) المكونات الأساسية لكل نوع من العينات التسعة ونسب هذه المكونات .

**جدول رقم (٣٧) يوضح مكونات ونسب المونات**

| م | المكونات | | | النسب على الترتيب بالوزن |
|---|---|---|---|---|
| ١ | رمل | جير | | ٣ : ١ |
| ٢ | رمل | جير | أسمنت أبيض | ٣ : ١ : ١ |
| ٣ | رمل | جير | مسحوق طوب أحمر | ٣ : ١,٥ : ٠,٥ |
| ٤ | رمل | جير | مسحوق حجر جيرى | ٣ : ١,٥ : ٠,٥ |
| ٥ | رمل | جير | قصر وميل | ٣ : ١ : ١ |
| ٦ | رمل | جير | أسمنت أبيض + مسحوق حجر جيرى | ٣ : ١ : ٠,٥ : ٠,٥ |
| ٧ | رمل | أسمنت أبيض | مسحوق حجر جيرى | ٣ : ٢ : ١ |
| ٨ | رمل | أسمنت أبيض | مسحوق طوب أحمر | ٣ : ٢ : ١ |
| ٩ | رمل | قصر وميل | مسحوق حجر جيرى | ٢ : ١ : ١ |
| ١٠ | رمل | جير | جبس | ١ : ١,٥ : ٣ |

ب- تم إعداد مونة مماثلة تماماً لمكونات ونسب المونة التى استخدمت فى بناء مئذنة يشبك من مهدى وذلك طبقاً لنتائج تحليل هذه المونة الأثرية بحيود الأشعة السينية XRD وهى مكونة من الجبس والجير والرمل بالنسب ٣ : ١,٥ : ١ بالوزن على الترتيب وذلك لمقارنتها بالمونات السابقة واخضاعها للتجارب المعملية وتقييم تأثير المواد المقوية المختلفة عليها ، وقد أخذت الرقم (١٠) ، وقد روعى فى المكونات التى تم استخدامها فى أعداد وتشكيل المونات على هيئة مكعبات مقاساتها ٥×٥×٥ سم أن تكون من أجود وأفضل الأنواع وذلك كالتالى :

### ١ـ الماء المستعمل فى خلط المونات

لابد أن يكون الماء المستخدم فى خلط المونات نقياً عذباً خالياً من الأملاح والأحماض والمواد الجيرية والعضوية وأى شوائب أخرى .

### ٢ـ الرمل

يجب أن يكون الرمل نظيفاً خالياً من الكتل المتماسكة والمواد الضارة مثل الطفلة والأملاح والأصداف والمواد القلوية والعضوية وغيرها .

### ٣ـ الجير

أخذ الجير من ناتج الجير الحى الحديث الحرق المطفأ بالمياه المرشحة النقية ويستعمل الجير بعد أسبوع من إطفائه بالماء ، كما يجب أن يمرر من منخل Sieve سعه فتحاته٣ مم للتخلص من المواد الصلبة غير المرغوب فيها . والجير المطفأ المستخدم فى أعمال البناء يجب ألا تقل نسبة أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم الموجودة فيه عن ٨٠ % .

### ٤ـ الجبس

الجبس لا يستخدم فى الوقت الحالى فى عمل المونات ولكنه كان مستخدماً قديماً فى المونات وقد استخدم ضمن مونة بناء مئذنة يشبك من مهدى ويجب أن يكون الجبس خالياً من الشوائب ، حديث التحضير ، لم يتعرض لتأثير الرطوبة لأنها تؤثر على خواصه ولا ينصح باستخدامه مطلقاً فى عمل المونات وذلك لما ينتج عنه من أملاح تؤدى إلى حدوث التلف للمبانى الأثرية الحجرية .

### ٥ـ الحمرة ( مسحوق الطوب الأحمر )

يجب أن تكون مصنوعة من أحسن وأنقى أنواع الطمى المحروق حرقاً خفيفاً وإذا دعت الحاجة لعملة بكميات بغرض استخدامه فى مونات الترميم ، يتم وضع الطمى فى قوالب فيشكل على هيئة قوالب طوب ثم حرقه فى القمائن حرقاً خفيفاً بحيث يكون لونه بعد الحريق أحمر ضارب للصفرة قليلاً وبعد حرق الطمى أو الطوب المصنوع منه يطحن بحيث يمر من منخل Sieve فتحاته سعه ٢ مم ويجب أن تكون الحمرة خالية من الأتربة والرمال والمواد العضوية أو أى مادة غريبة أخرى .

### ٦ـ القصروميل

يجب أن يكون من خالص ناتج حرق الأخشاب المحروقة حرقاً كاملاً جيداً (من المستعملة فى الأفران الخاصة بحرق الحجر الجيرى للحصول على الجير على سبيل المثال) ويجب أن يتم نخله بحيث يمر من منخل Sieve سعه فتحاته واحد مم وأن يكون خالياً من الأتربة والرمال العضوية أو أى مادة غريبة أخرى ولا يفضل استعمال رجوع الفحم المطحون لأنه غالباً لا يكون قد تم حرقه حرقاً جيداً .

### ٧ـ الأسمنت الأبيض

يجب أن يكون نقياً ، خالياً من الشوائب ، حديث الإنتاج وتخلو مكوناته من أى مواد غريبة ويجب أن يكون مستوفى للاشتراطات المنصوص عليها فى نشرات المواصفات القياسية .

### ٨ـ مسحوق الحجر الجيرى

يجب أن تكون مطحونة طحناً جيداً ، متجانسة الحبيبات خالية من الشوائب العضوية وأى مواد غريبة ويجب أن يتم نخلها بحيث تمر من منخل Sieve سعه فتحاته٢ مم وذلك للتخلص من أى كتل متماسكة أو حبيبات ذات أحجام كبيرة غير مرغوب فيها ، وبعد إعداد عينات الحجر الجيرى والمونات على هيئة مكعبات وترك مكعبات المونات لكى تجف تماماً لمدة ٤ أسابيع تم إجراء التجارب المعملية للتقوية والعزل عليها لكى يتم تقييمها من حيث الكفاءة والثبات ضد العوامل البيئية وعوامل التلف المختلفة وتوضح الصورتى رقمى (٩٨)،(٩٩) عينات الحجر الجيرى والمونات التى تمت إعدادها لعمليات التقوية ، وفيما يلى ذكر للطرق المستخدمة فى عمليات التقييم وكذلك مراحل تقوية وعزل عينات الحجر الجيرى والمونات والمواد (البوليمرات الصناعية ) المستخدمة فى إجراء عمليات التقوية والعزل ضد الماء للعينات .

## ثانياً : طرق تقييم المواد المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بمئذنة يشبك من مهدى :

يتم تقييم مواد التقوية المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار عن طريق قياس الخواص الفيزيائية المتمثلة فى الكثافة Density وامتصاص الماء Water Absorption والمسامية Porosity والخواص الميكانيكية وأهمها قوة تحمل الضغط Compressive Strength وذلك للعينات قبل التقوية وبعد المعالجة بالمواد

المقوية المختلفة للتعرف على تأثير البوليمرات المختلفة على الأحجار والمونات الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى وكذلك خلطات المونات التى تم إعدادها لإختيار انسبها وأفضلها لعمليات الترميم إلى جانب ذلك يتم عمل الفحص بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى الماسح (SEM) للتعرف على طبيعة انتشار المواد المقوية بين حبيبات الأحجار والمونات ومدى كفاءتها فى الربط بين حبيباتها وتعويض فقد المواد الرابطة الأصلية بين هذه الحبيبات ولمعرفة مدى ثبات هذه المواد المقوية وقدرتها على تحمل الظروف البيئية المختلفة المحيطة بالمئذنة يتم عمل دورات تقادم صناعى على العينات المعاجلة بالبوليمرات المختلفة حتى يمكن اختيار أفضلها وأكثرها كفاءة فى عمليات التقوية والعزل للأحجار والمونات حيث يتم إجراء نفس الاختبارات السابق ذكرها من قياس للخواص الميكانيكية والخواص الفيزيائية ثم إجراء عملية الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح لمعرفة مدى التغير فى هذه الخواص وبالتالى درجة ثباتها وكفاءتها .

## ١- تعيين الخواص الفيزيائية

### أ- تعيين الكثافة Denisty

الكثافة هى العلاقة بين وزن العينة والحجم الخارجى لها متضمنا حجم المسام وتحسب من المعادلة الآتية :-

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{وزن العينة}}{\text{الحجم الخارجى لها}} = \text{............ جم / سم}^3$$

ويتم تعيين وزن العينة عن طريق تجفيفها فى فرن تجفيف لمدة ٢٤ ساعة عند ١٠٥ م° ثم يتم وزنها لتحديد الوزن الجاف كما يتم حساب الحجم وبقسمة الوزن على الحجم نحصل على الكثافة الكلية بوحدات جم/سم٣

### ب- تعيين نسبة امتصاص الماء Water Absorption

تم تعيين نسبة امتصاص الماء من خلال الخطوات الآتية

١- تجفيف العينات فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥ م° لمدة ٢٤ ساعة ثم تم وزن العينات لتعيين الوزن الجاف ($W_1$)

٢- تم غمر العينات فى الماء لمدة ٢٤ ساعة ثم تم تعيين الوزن بعد الغمر ( الوزن الرطب ) ($W_2$)

٣- تم حساب نسبة امتصاص الماء للعينات من المعادلة الآتية :

$$\text{Water Absorption} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 = \text{.....................}\%$$

### جـ- تعيين نسبة المسامية Porosity

تم تعيين نسبة المسامية كما يلى :

- تم تجفيف العينات فى فرن تجفيف لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة ١٠٥ م° ثم تم تعيين الوزن الجاف للعينات ($W_1$) بوحدة الجرام .
- تم غمر العينات فى الماء لمدة ٢٤ ساعة ثم تم تعيين الوزن بعد الغمر ($W_2$) .
- تم قياس الأبعاد الثلاثة للعينات ثم تم تحديد الحجم (V) بوحدة سم٣ .
- تم حساب نسبة المسامية للعينات من المعادلة الآتية :

$$\text{Porosity} = \frac{W_2 - W_1}{V} \times 100 = \text{..........}\%$$

### د – تعيين نسبة المادة الصلبة المتبقية من مادة التقوية داخل العينات المعالجة

تم تعيين نسبة المادة الصلبة المتبقية كالتالى :

أ- تم تجفيف العينات قبل إجراء عملية التقوية فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥ م ° لمدة ٢٤ ساعة ثم تم وزنها جافة .

ب- بعد إجراء عملية التقوية تم التجفيف فى فرن للتجفيف لمدة ٢٤ ساعة عند درجة حرارة ١٠٥ م° وتم حساب نسبة المادة الصلبة المتبقية من المعادلة الآتية :

$$\text{نسبة المادة الصلبة المتبقية} = \frac{\text{الوزن بعد التقوية} - \text{الوزن قبل التقوية}}{\text{الوزن قبل التقوية}} \times ١٠٠ = ......\%$$

مع ملاحظة أن التجفيف فى فرن التجفيف بعد التقوية تم بعد أن تركت العينات الفترة الكافية لحدوث عملية البلمرة للمادة المقوية المستخدمة كل على حدة حسب خواصها وطبيعتها ثم أجريت عملية التجفيف فى فرن التجفيف عند ١٠٥ م° وتوضح الصورتين رقمى (١٠٢)،(١٠٣) عينات الحجر الجيرى والمونات أثناء عمليات قياس الخواص الفيزيائية لها .

### ٢- تعيين الخواص الميكانيكية للعينات المعالجة

#### أ- تعيين قوة تحمل الضغط Compressive Strength

- تم قياس أبعاد العينة ثم وزنها وحساب مساحتها .
- وضعت العينة بين فكى ماكينة اختبار قوة تحمل الضغط مع مراعاة انطباق محور العينة على محور التحميل الخاص بالماكينة كما بالصورتين رقمى (١٠٠)،(١٠١) .
- تم تحميل العينة بحمل الضغط ببطء حتى يظهر تشرخ أو تهشم العينة .
- تم تسجيل القراءات ثم تم حساب قوة تحمل الضغط من المعادلة الآتية

$$\text{قوة تحمل الضغط} = \frac{\text{الحمل بالنيوتن} \times ١٠٢}{\text{مساحة العينة}} = \text{كجم / سم}^٢$$

#### ب- تعيين قوة تحمل الشد Tensile Strength

- تم الاختبار عن طريق قياس أبعاد العينة ووزنها .
- تم وضع العينة بين فكى آله قياس قوة تحمل الشد .
- تم التحميل ببطء حتى تهشمت العينة .
- تم تعيين قوة تحمل الشد من المعادلة الآتية :-

$$\text{قوة تحمل الشد} = \frac{٣\text{ح} (\text{ل} - \text{س})}{٢ \text{ ع س}} = ........\text{كجم/سم}^٢$$

حيث ل = طول العينة ، ع = عرض العينة ، س = سمك العينة ح = حمل الشد.

## قياس الخواص الميكانيكية بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية

## Ultrasonic Technique

تعتبر طريقة تعيين الخواص الميكانيكية للأحجار بواسطة الموجات فوق الصوتية من الطرق غير المتلفة للأثر Non- Destructive Methods والتى نحتاج إليها كثيراً فى مجال ترميم الآثار نظراً لاعتبارات الصيانة والمحافظة على الآثار من التلف وعدم تعريضها إلى المزيد من التلف بفعل العينات التى يتم أخذها من الأثر لإجراء الاختبارات عليها ويمكننا بواسطة العينات القياسية وجهاز الموجات فوق الصوتية من قياس الخواص الميكانيكية للأحجار سواء على عينات منفصلة معدة لذلك إذا كانت هناك إمكانية لذلك أو قياس الخواص الميكانيكية للأحجار على الجدران الأثرية مباشرة بدون إحداث أى تلف لها . ويعتمد استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية لقياس الخواص الميكانيكية للأحجار على أن سرعة هذه الموجات تختلف باختلاف كثافة ومرونة الوسط التى تمر فيه(١) ، وأجهزة الموجات فوق الصوتية سهلة الاستخدام حيث يمكن نقلها إلى الموقع بسهولة وهى أجهزة رقمية Digital وفى البداية كانت تعتمد أجهزة الموجات فوق الصوتية على شحنها بالكهرباء حيث تستطيع المرور خلال المواد والقيام بعملها لفترة قصيرة ينبغى بعدها شحنها مرة أخرى(٢) ولكن تطورت هذه الأجهزة فى السنوات الأخيرة وأصبحت تعمل باستخدام البطاريات الجافة الصغيرة (١,٥ فولت) حيث يمكن استخدامها بسهولة بعد نفاذ الطاقة منها بعد فترة من الاستخدام مثل الجهاز الذى تم استخدامه لتعيين الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى والمونات بمئذنة يشبك من مهدى ،

ويتركب الجهاز كما يظهر فى الصورة رقم (١٠٤) من مرسل ومستقبل أحدهما وهو المرسل يقوم بإرسال الموجات فوق الصوتية التى تمر خلال العينات المختبرة وتستقبل هذه الموجات بعد مرورها خلال العينات بواسطة المستقبل ، كما يحتوى الجهاز على قضيب معدنى مرجعى Standard Bar يستخدم لضبط ومعايرة الجهاز قبل الاستخدام ( تمر الموجات فوق الصوتية فى زمن ثابت يقدر بـ ٢٤ ميكروثانية ) وقد يختلف هذا القضيب المعدنى من جهاز لآخر وبالتالى يختلف الزمن القياسى لمرور الموجات فوق الصوتية خلاله أما الوحدة الرئيسية للجهاز فهى وحدة توليد الموجات فوق الصوتية والتى تصل إلى المرسل والمستقبل من خلال مجموعة من الكابلات الكهربية وتختلف أطوالها حسب الحاجة حيث تقوم هذه الوحدة الرئيسية بإصدار الموجات فوق الصوتية وتمر خلال الكابلات إلى المرسل الذى يصدرها بدورة بحيث تمر خلال العينات وتستقبل هذه الموجات مرة أخرى بواسطة المستقبل الذى ينقلها بدورة إلى الوحدة الرئيسية بالجهاز والتى تعين زمن مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات بوحدة الميكروثانية فى شكل رقمى ومنها يمكن تعيين سرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات بمعلومية المسافة بين المحولين المرسل والمستقبل لجهاز

---

(1) Papida, S.et al.: The Use Of Sound Velocity Determination For The Non Destructive Estimation Of Physical And Microbial Weathering Of Limestones And Dolomites, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.1, Venice, 2000, P.611.

(2) Recheis. A. et al. : Ultrasonic Measurements On Weathering Alpine Marble Astudy On Field Exposed Samples And On The Medival Marble. Portals Of Schloss Tirol/ South Tyrol- Italy, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.2, Venice, 2000, P.140.

الموجات فوق الصوتية(١) ويمكن إجراء الاختبار للعينات بطريقة مباشرة Direct Transmission حيث يوضع المستقبل مقابلاً للمرسل أو يتم القياس بطريقة غير مباشرة Indirect Transmission ويمكن استخدام هذه الطريقة مباشرة على الجدران الأثرية حيث يمكن بواسطتها تعيين طبيعة الشروخ من حيث الاتجاهات والعمق وكذلك يمكن معرفة سمك الطبقات الضعيفة المنفصلة عن الأسطح الحجرية بفعل التجوية وعوامل التلف المختلفة (٢) ، و بالاستعانة بقياس الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى والمونات قبل التقوية وقياس سرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلالها ثم قياس الاختلاف فى سرعة مرور الموجات فوق الصوتية للعينات بعد التقوية والمعالجة بالبوليمرات المختلفة وعن طريق المقارنة بين سرعة مرورها فى العينات المعالجة وبواسطة معادلة رياضية يمكن تعيين الخواص الميكانيكية للعينات المعالجة بالبوليمرات المختلفة وقد تم قياس زمن مرور الموجات فوق الصوتية لجميع العينات ثم حساب سرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلالها كما يتضح من الصور أرقام (١٠٤)،(١٠٥)،(١٠٦)،(١٠٧) حيث تم حساب وقياس الخواص الميكانيكية بعد ذلك .

## مواد التقوية المستخدمة

تم اختيار مجموعة من البوليمرات و روعى خلال عملية الاختيار أن تتضمن هذه البوليمرات مركبات ومجموعات كيميائية مختلفة حيث تشتمل على مركبات الاكريلك سواء فى هيئة مستحلبات أو فى هيئة محاليل شفافة وكذلك مركبات السيليكون والسيليكات والسيلان والسيلوكسان كما تم مراعاة ان تتضمن هذه المجموعة اختلافاً فى المذيبات المستخدمة فى كل منها ما بين الماء أو المذيبات العضوية وذلك لإعداد دراسة متكاملة لتقييم تأثير هذه البوليمرات المختلفة فى تركيبها الكيميائى وخواصها الفيزيائية حيث أن بعضها يتميز بقدرته على منع امتصاص الماء Water Repellent Material على الأحجار الجيرية الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى وكذلك المونات المختلفة التركيب والتى تم إعدادها فى الجانب التجريبى من الرسالة لدراسة خواصها المختلفة واختيار انسبها لعمليات الترميم الخاصة بالمئذنة وهى تتكون من عشرة مواد متنوعة كالتالى :-

## أ- مواد الاكريليك المستخدمة فى التقوية

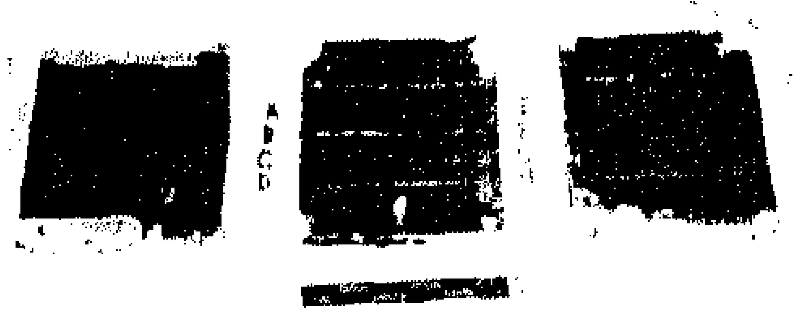
### ١) البريمال Primal WS 24

هو أحد مركبات الأكريلك ويستخدم فى صورة مستحلب Emulsion وهو خليط من استرات حمض الأكريلك $CH_2 = COOH$ وحمض الميثاكريلات $CH_2 = CH - COOH$ وهو يخلط بالماء ليعطى المستحلب ويستخدم بنسب مختلة لتقوية الأحجار ومواد البناء وبصفة خاصة المونات الطبيعية التى تتركب

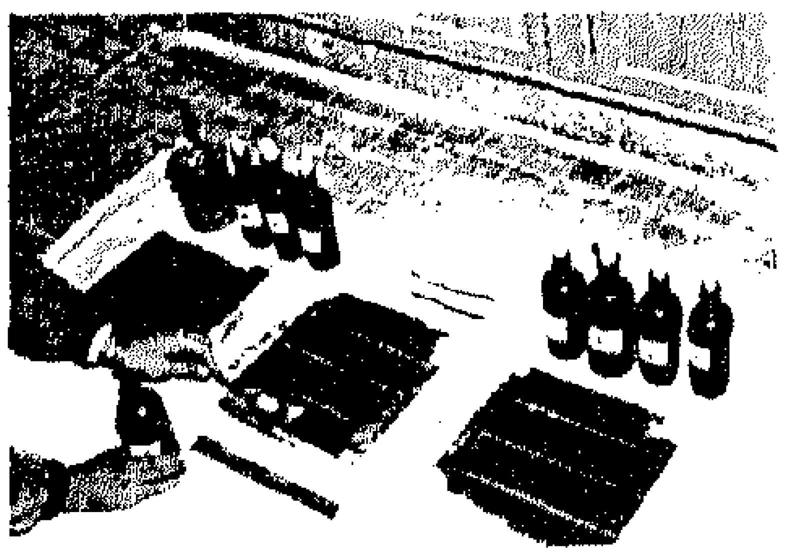
---

(1) Almesberger, D. et al: ultrasonic Testing Method For The Characterization Of Pietra D'Istria Structural Elements, In : Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.2, Venice, 2000, P.317.

(2) Recheis. A. et al. : Ultrasonic Measurements On Weathering Alpine Marble Astudy On Field Exposed Samples And On The Medival Marble. Portals Of Schloss Tirol/ South Tyrol- Italy, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.2, Venice, 2000, P.141.

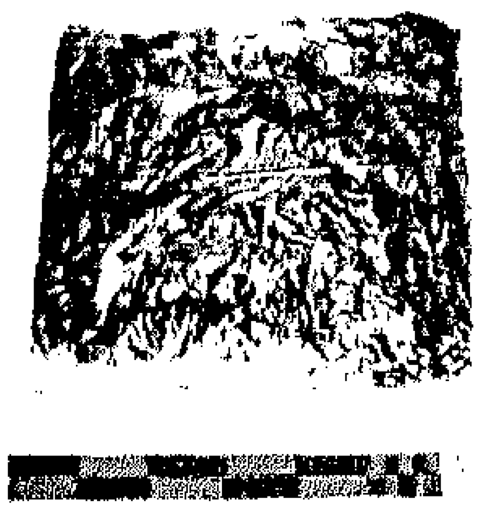


صورة رقم (٩٣)



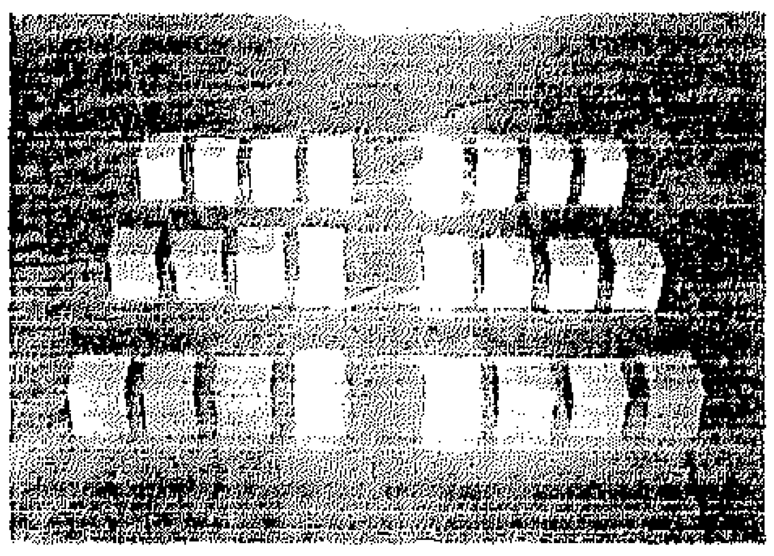
صورة رقم (٩٤ )

صورة رقم (٩٥ )

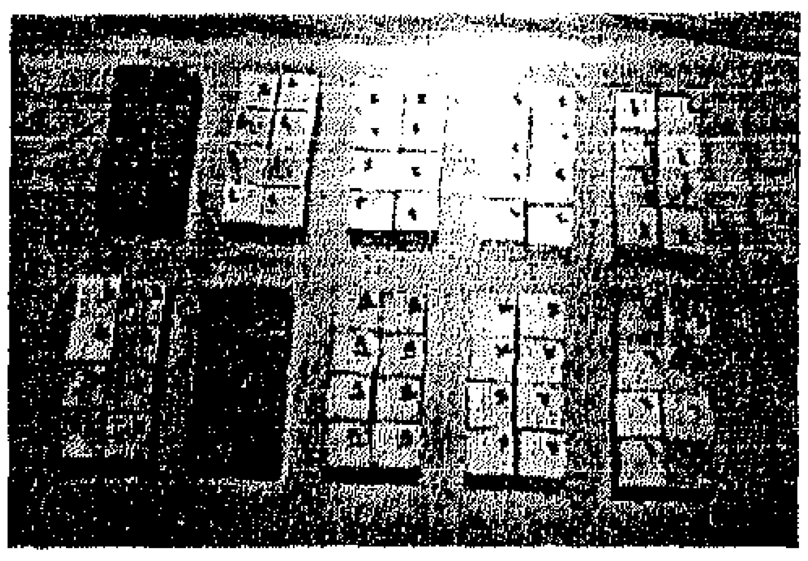


صورة رقم (٩٦ )

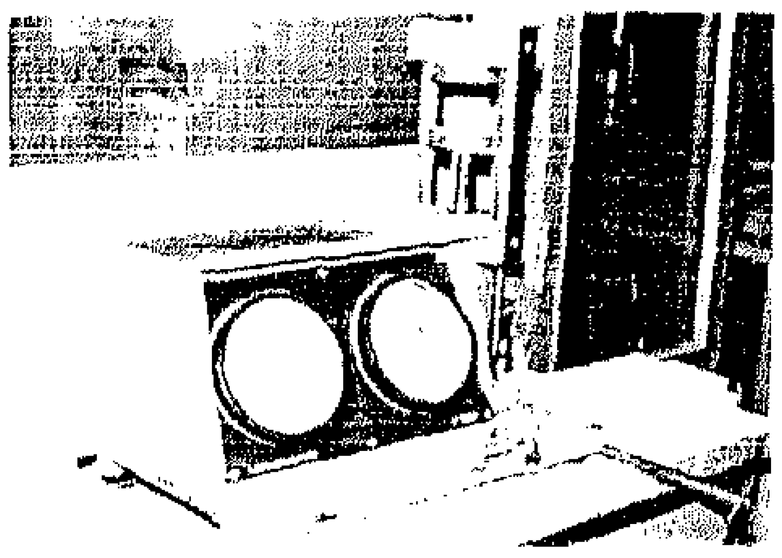
صورة رقم (٩٧)



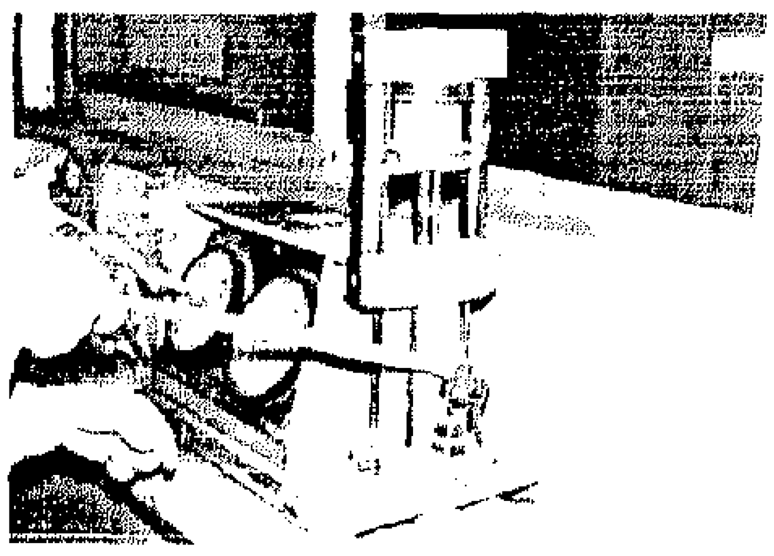
صورة رقم (٩٨)



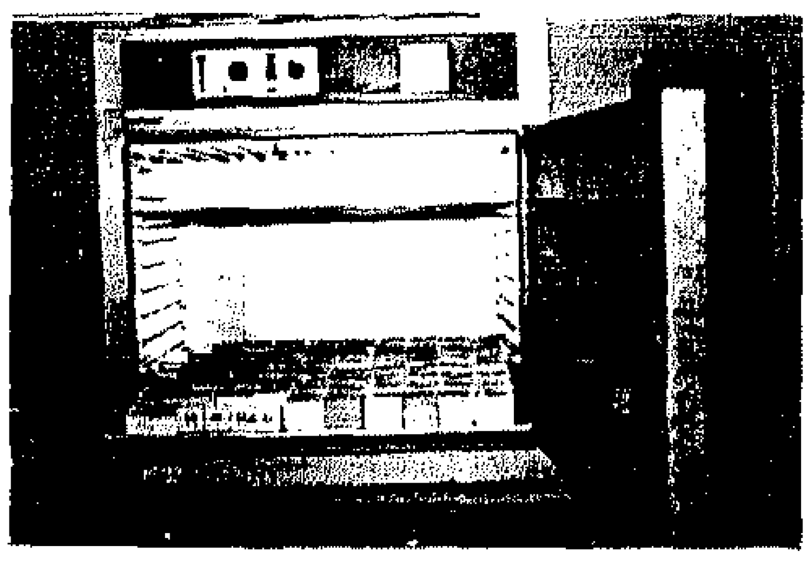
صورة رقم (٩٩ )



صورة رقم (١٠٠ )

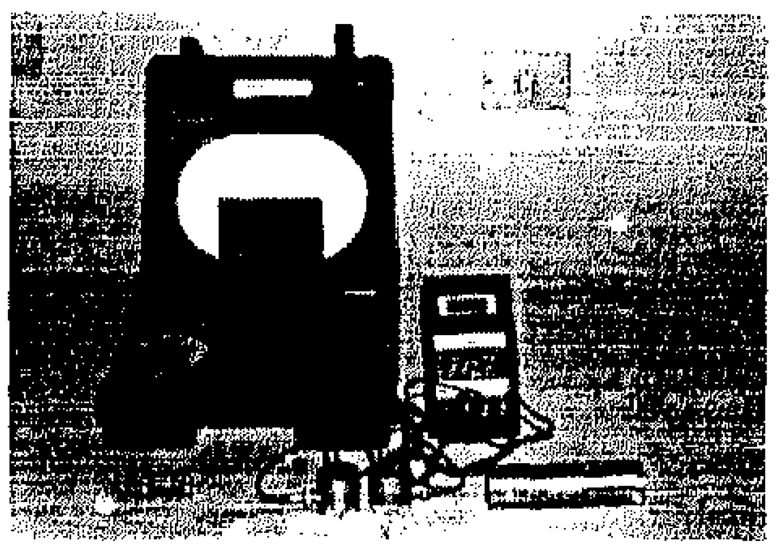


صورة رقم (١٠١ )

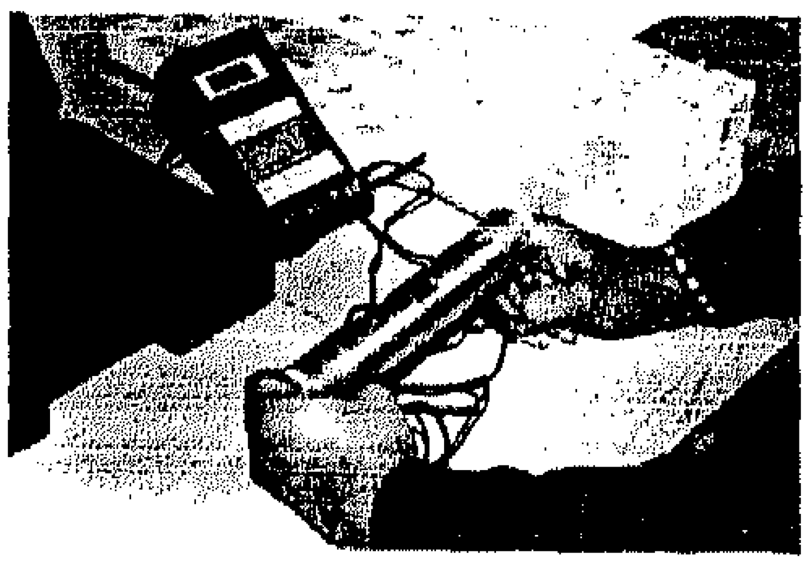


صورة رقم (١٠٢ )

صورة رقم (١٠٣)

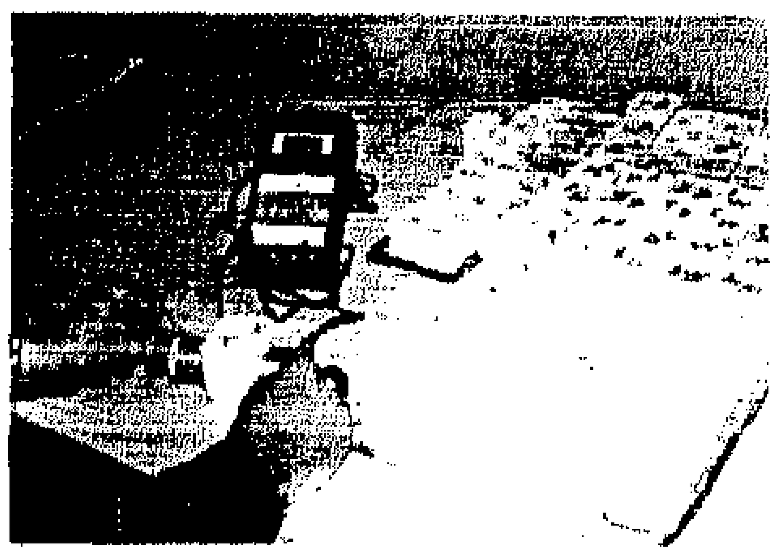


صورة رقم (١٠٤ )



صورة رقم (١٠٥ )

صورة رقم (١٠٦ )



صورة رقم (١٠٧ )

الصور من رقم (٩٣) إلى رقم (٩٧) توضح الدراسة التجريبية للتنظيف وإزالة السناج (تنظيف بالمحاليل الكيميائية وكمادة مورا ) .

الصور من رقم (٩٨) إلى رقم (٩٩) توضح عينات الحجر الجيرى والمونات . الصور رقم (١٠٠) إلى رقم (١٠٣) توضح قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية لعينات الحجر الجيرى والمونات قبل وبعد عمليات التقوية .

الصور من رقم (١٠٤) إلى رقم (١٠٧) توضح جهاز الموجات فوق الصوتية و قياس الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى والمونات بواسطته ( عمل الباحث )

بشكل أساسى من الرمل والجير ويستخدم بنسبة من ٣% إلى ٥% أو أكثر إن تطلب الأمـــر ويســـتخدم مـــع مونات الترميم حيث من الممكن أن يخلط مع مكوناتها ليعطيها قوة تحمل أعلى للضغوط و الإجهادات .

**٣) Dispersion K6 Glanz**

يتكون أساساً من الميثيل ميثاكريلات فى صورة مستحلب مع الماء وتركيبه الكيميائى $H_2C = C\text{-}(CH_3) - CO_2 - CH_3$ وهو تستخدم مخفف لتقوية أسطح الأحجار كما يستخدم لتقوية مـــواد البناء المختلفة والمونات كما يمكن خلطة أيضاً مع المونات لتحسين خواصها وهو كذلك من مركبات الأكريلك Acrylic Compounds

**٣) البارا لويد Paraloid B44**

هو أحد مركبات الأكريلك ويتركب أساساً من الميثيل ميثـــاكريلات Methyl Methacrylate وتركيبـــه الكيميائى $H_2C = C\text{-}(CH_3) - CO_2 - CH_3$ وهو سائل شفاف ، كثافته ما بين ٠,٩٤٤ جم/ســـم٣ عنـــد درجة حرارة ٢٠م° وتبلغ ٠,٩٤ جم/سم٣ عند درجة حرارة ٢٥م° ودرجة غليانه تبلغ ١٠٠م° ويباع تجارياً فى هيئة بلورات شفافة تخلط بالمذيبات العضوية مثل الأسيتون والطولوين لتعطى السائل الشفاف وتســـتخدم لتقوية الأحجار والمونات حيث تخفف بنسبة ٣% إلى ٥% بالمذيبات العضوية .

## ب – مواد السيليكون والسيليكات المستخدمة فى التقوية

**١) سيليكات الإيثيل Ethyl Silicate**

تتركب مادة سيليكات الإيثيل من مركب تترا إيثوكسى ســـيلان Tetra Ethoxy $Si(OC_2H_5)_4$ Silane وتنتج من تفاعل حمض السيليسيك مع الكحول الإيثيلى ولون المحلول الخاص بها شفاف وعند إجراء عمليـــة التقوية بسيليكات الإيثيل تتفاعل مع الرطوبة مكونة السيليكا الجيلاتينية ويتبخر الكحول طبقاً للمعادلة الآتيـــة :

$$Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \xrightarrow{Cat.} SiO_2aq + 4C_2H_5OH \uparrow$$

Silica Gel.

وعند فقدان السيليكا الجيلاتينية أو السيليكا جيل للماء تتكون السيليكا الجافة وهى التى تعمـــل كمـــادة رابطـــة جديدة بين حبيبات الأحجار ومواد البناء المختلفة وهى تستخدم على نطاق واسع فى تقوية الآثار الحجرية و لا ينتج عنها مركبات ثانوية ضارة بالأحجار حيث أن الكحول الإيثيلى الناتج من التفاعل يتبخر من على الأسطح كما يمكن استخدامها بشكل مركز أو يتم تخفيفها باستخدام الكحول الإيثيلى بنسب مختلفة حسب حالة الأحجـــار المعالجة .

**٢) ميثيل تراى ميثوكسى سيلان Methyl Tri Methoxy Silane**

من مركبات السيلان ويحتوى تركيبه الكيميائى على مجموعة ميثيل وثلاثة مجموعـــات ميثوكســـى وتركيبـــه البنائى كالتالى :

$$\begin{array}{c} OCH_3 \\ | \\ CH_3 - \; Si \; - OCH_3 \\ | \\ OCH_3 \end{array}$$

ومعروف تجارياً باسم Methyl Tri Methoxy Silane Dow Corning Z 6070 وتنتجه شركة Dow Corning البلجيكية ويتميز بقدرته العالية على إعطاء الأحجار خاصية المنع للماء Water Repellent Material ويرجع ذلك لوجود مجموعة الميثيل $CH_3$ فيه ويستخدم على نطاق واسع فى العزل الراسى للواجهات الحجرية الأثرية ضد تأثير الرطوبة .

**٣) بولى ميثيل هيدرو سيلوكسان Poly Methyl Hydro Siloxane**

تتركب مادة Poly Methyl Hydro siloxaneمن السيلوكسان المائى Hydro Siloxane عديد الميثيل Poly Methyl ويتميز هذا المركب بكفاءته العالية وقدرته على إعطاء الأسطح الحجرية خاصية العزل ضد الماء وذلك نظراً لوجود مجموعات الميثيل $CH_3$ به ويستخدم كمادة مقوية للأحجار والمبانى الحجرية وعزلها ضد تأثير الرطوبة وكذلك مع مواد البناء ويخفف بالمذيبات العضوية وأفضل مذيب يستخدم معه هو الكحول الإيثيلى حيث تم استخدامه لتقوية وعزل عينات الحجر الجيرى والمونات الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى بتركيز ٥% مع الكحول الإيثيلى .

**٤) فاكر Wacker BS 1306**

مادة فاكر Wacker BS 1306 – BS 1306 عبارة عن مستحلب من البولى سيلوكسان Polysiloxane مع راتنج السيليكون Silicon Resin وهى تستخدم على نطاق واسع كمادة طاردة للماء Water Repellent Material وهى تتميز بقدرتها على نفاذ بخار الماء من خلال الأسطح المعالجة بها وهى تستخدم فى المبانى الأثرية الحجرية كمادة عازلة للأسطح ضد تأثير الرطوبة وتستخدم مخففة بالماء بنسبة ١:٩ماء ، وتستخدم أيضاً كمادة مقوية للأحجار والمبانى الحجرية الأثرية .

**٥) فاكر Wacker SKM 550**

يتركب أساساً من السيلان Silane والسيلوكسان Siloxane وهو من المركبات التى تخلط بالماء لتعطى مستحلب Emulsion يستخدم على نطاق واسع فى عمليات العزل الأفقى للمبانى الحجرية الأثرية حيث يتميأ المركب فى الماء ومصدره الرطوبه الموجودة فى الأحجار ويعطى مركب عديد السيلوكسان ( بولى سيلوكسان ) وكحول إيثيلى يتبخر طبقاً للمعادلة الآتية .

$$\begin{array}{c}O\\|\\R-Si-OC_2H_5\\|\\O\end{array} + H_2O \longrightarrow \begin{array}{c}O\\|\\R-Si-O---\\|\\O\end{array} \quad + \underset{\text{Ethanol}}{C_2H_5OH}$$

Cross Linked Poly Siloxane

وهى تعتبر من المواد الطاردة للماء Water Repellent Materials ولونه بعد خلطه بالماء يكون أبيض مصفر وكثافته تبلغ ٠,٩٨ حجم /سم٣ ولزوجته Viscosity تبلغ ٧ مم٢ / ثانية وقيمة PH لـه تبلغ (٦) ويستخدم بنسبة تخفيف من ١:١٠ حتى ١:١٥ حسب حالة الأثر .

**٦) Gypstop – p17**

مادة Gypstop P 17 عبارة عن معلق غروى من حبيبات السيليكا Colloidal Silica Sols ولكى تأخذ القوام الغروى السائل يضاف لها نسبة قليلة من النشادر وهى تستخدم بتركيز ٢٠% لتقوية الحجر الجيرى والمونات ومواد البناء والمكون الأساسى لها هو ثانى أكسيد السيليكون $SiO_2$ حيث تحتوى على نسبة ٣٥%

بالوزن من ثانى أكسيد السيليكون بالإضافة إلى الأمونيا ( فى صورة نشادر $NH_3$ ) بنسبة ٠,٢% بالوزن وتحتوى على نسبة ضئيلة جداً من الصوديوم فى صورة أكسيد الصوديوم $Na_2O$ بنسبة تقل عن ٠,١% بالوزن وتبلغ قيمة PH لها (٩,٥) ولونها أبيض يشبه اللبن وقد تم استخدامها ضمن الجانب التجريبى للرسالة فى تقوية عينات الحجر الجيرى لمئذنة يشبك من مهدى .

**٧) Silo 111**

هو عبارة عن جزئيات ذات وزن جزيئى صغير من الأورجانو سيلوكسان Organo Siloxane تستخدم بتركيز ١٠% فى مذيب هيدروكربونى معدنى ( مثل White Spirit ) وله قدرة عالية على الانتشار داخل الأحجار التى يتم تقويتها به بفضل المذيب العضوى المستخدم كما انه يتميأ فى وجود الرطوبة داخل الأحجار ويحدث التفاعل بالكامل مكوناً مادة رابطة بين حبيبات الأحجار كما أنه يتميز بالخاصية المانعة للماء Water Repellent Material ويسمح بدخول وخروج بخار الماء داخل مسام الأحجار بعد المعالجة أى يسمح بتنفس الأحجار ويمكن استخدامه مع الحجر الجيرى والرخام والجص والطوب المحروق (الآجر) وهو سائل عديم اللون ، شفاف تبلغ نسبة المادة الفعالة فيه ١٠% وتبلغ درجة غليانه من ١٥م° - ١٨٠ م° ودرجة الاشتعال من ٢٧م° - ٣٠م°

## عمليات التقوية والعزل لعينات الحجر الجيرى والمونات بالبوليمرات المختلفة

لقد تم مراعاة التنوع فى المواد المقوية والعازلة ضد الرطوبة التى تم إخضاعها للدراسة لتقييم مدى فاعليتها وتأثيرها فى خواص عينات الحجر الجيرى والمونات المعالجة بها لاختيار أفضلها لاستخدامه لتقوية وعزل الأحجار الجيرية والمونات بمئذنة يشبك من مهدى ويوضح الجدول رقم (٣٨) المواد المقوية المستخدمة والمذيب المستخدم معها وتميزها بخاصية المنع للماء من عدمه والتركيز المستخدم لها فى تقوية وعزل العينات .

**جدول رقم (٣٨) يوضح المواد المقوية المستخدمة لتقوية عينات الحجر الجيرى والمونات**

| م | المادة المقوية | الرمز | المذيب المستخدم | خاصية المنع للماء | التركيز المستخدم |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | Ethyl Silicate | TEOS | الكحول الإيثيلى | لا توجد | ٥% |
| ٢ | Primal WS 24 | P.W.S 24 | الماء | لا توجد | ٤% |
| ٣ | Dispersion k6 Glanz | D | الماء | لا توجد | ٤% |
| ٤ | Methyl Tri Methoxy Silane | MTMOS | الكحول الإيثيلى | توجد | ٥% |
| ٥ | Poly Methyl Hydrosiloxane | P | الكحول الإيثيلى | توجد | ٥% |
| ٦ | Wacher BS 1306 | W.1306 | الماء | توجد | ٩:١ مع الماء |
| ٧ | Wacker SMK 550 | W.550 | الماء | توجد | ١٢:١ مع الماء |
| ٨ | Paraloid – B44 | P.B44 | الإسيتون + الطولوين | لا توجد | ٤% |
| ٩ | Gypstop – P17 | G | الماء | لا توجد | ٢٠% مع الماء |
| ١٠ | Silo 111 | S | White Spirit | توجد | ٥% |

وتجدر الإشارة إلى استخدام المركبات العشرة المختارة السابقة لتقوية وعزل عينات الحجر الجيرى الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى أما بالنسبة للمونات التى تم إعدادها لاختبار مدى كفاءتها وتأثير مركبات التقوية على خواصها فقد تم اختيار ستة مركبات من المركبات العشرة السابقة مناسبة لتقوية وعزل المونات الطبيعية التى تم إعداد عينات منها وهذه المواد الستة التى تم اختيارها متنوعة بين مركبات الأكريلك والسيكون والسيلوكسان والسيليكات وبعضها يستخدم معها مذيب عضوى والبعض الآخر يستخدم معه الماء لتخفيفه وإذابته وهذه المركبات الستة المختارة لتقوية وعزل المونات هى :-

1- Primal WS 24 . 2- Dispersion K6 Glanz .

3- Wacker BS 1306 . 4- Methyl Tri Methoxy Silane (Dow Corning Z 6070)

5- Poly Methyl Hydro Siloxane . 6- Ethyl Silicate ( Tetra Ethoxy Silane ).

## عملية تقوية عينات الحجر الجيرى والمونات بالمواد المقوية المختلفة

- تم تجفيف عينات الحجر الجيرى والمونات فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥ م° لمدة ٢٤ ساعة مع التأكد من الحصول على وزن ثابت وتسجيل هذا الوزن .
- تم غمر العينات فى محلول التقوية المستخدم باستخدام المذيب المناسب والتركيز المناسب طبقاً للجدول السابق وترك العينات المعالجة لمدة ساعتين .
- تم إخراج العينات وتركها لتجف فى درجة حرارة الغرفة لمدة ٤٨ ساعة ثم تعيين الوزن.
- تم تكرار هذه المعالجة ثلاثة دورات متتالية .
- تركت العينات بعد تمام عملية التقوية لمدة ثلاثة أسابيع فى درجة حرارة الغرفة حتى تحدث عملية البلمرة الكاملة للمادة المقوية داخل العينات .

## تقييم مدى صلاحية وكفاءة المواد المستخدمة فى تقوية وعزل عينات الحجر الجيرى والمونات

تم تقييم ومعرفة مدى صلاحية وكفاءة المواد المستخدمة فى تقوية وعزل عينات الحجر الجيرى والمونات من خلال قياس مدى تأثير المواد المقوية المختلفة على الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات وكذلك من خلال الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح لمعرفة مدى قدرة هذه المواد على الربط بين حبيبات الحجر الجيرى والمونات ومدى كفاءتها فى التوغل والانتشار بين هذه الحبيبات وذلك كالتالى

## أولاً : تأثير مواد التقوية على الخواص الفيزيائية لعينات الأحجار والمونات

### ١- المظهر العام Appearance

تم تقييم مدى التغير فى المظهر العام لعينات الحجر الجيرى والمونات التى تم تقويتها بالبوليمرات المختلفة طبقاً للمواصفة ASTM 1729 وذلك من خلال ملاحظة الفروق فى الدرجات اللونية بين العينات المعالجة وغير المعالجة وكذلك المقارنة بين التغيرات اللونية المختلفة الناتجة من المعالجات المختلفة لاختيار أفضلها من حيث عدم التغير فى اللون لاستخدامه فى تقوية وعزل الأحجار الجيرية والمونات لمئذنة يشبك من مهدى.

## أ- عينات الحجر الجيرى

تميزت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بالتوغل والانتشار بسرعة داخل عينات الحجر الجيرى ولم تحدث تغيراً فى لون الأحجار المعالجة بها كذلك مادة Methyl Tri Methoxy Silane حيث لم تؤثر على لون السطح المعالج مقارنة بالعينات غير المعالجة حيث أنها مادة شفافة والمذيب المستخدم معها هو الكحول الإيثيلى وهو شفاف أيضاً ولا يسبب تغيراً فى اللون بينما سببت مادة Silo 111 تغيراً لونياً طفيفاً للأسطح المعالجة بها وربما يرجع ذلك إلى المذيب المستخدم معها وهو White Spirit وهو يميل إلى الأبيض المصفر فى لونه أما مادتى Wacker BS 1360 ومادة Gypstop – P17 فلم تؤثر على سطح العينات المعالجة أما مادة Paralaid B 44 فقد أدت إلى حدوث تغير ملحوظ فى لون العينات المعالجة بها مقارنة بالعينات غير المعالجة ، وبالنسبة لمادة Wacker SMK 550 فقد أعطت تغيراً طفيفاً فى اللون أما كل من مادتى Primal WS 24 و Dispersion K6 Glanz وهما من مواد الأكريلك فقد سببتا لمعان على الأسطح الحجرية للعينات المعالجة بهما ويوضح الجدول رقم (٣٩) نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لمواد التقوية المختلفة من حيث تأثيرها على عينات الحجر الجيرى المعالجة بها .

**جدول رقم (٣٩) يوضح نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لعينات الحجر الجيرى المعالجة بمواد التقوية المختلفة**

| م | مادة التقوية Consolidant | الرمز | التأثير على المظهر العام Effect On Appearance |
|---|---|---|---|
| ١ | Ethyl Silcate (Tetra Ethoxy Silane) | TEOS | تتميز المادة بعدم التأثير على السطح المعالج |
| ٢ | Primal WS 24 | P.WS24 | تسبب المادة وجود لمعان للسطح المعالج |
| ٣ | Dispersion K6 Glanz | D | تسبب المادة لمعان وتكون طبقة رقيقة على الأسطح المعالجة بها |
| ٤ | Methyl Tri Methoxy Silane | MTMOS | تتميز المادة بإعطاء ثبات لونى للسطح المعالج |
| ٥ | Poly Methyl Hydro Siloxane | P | تنتشر المادة بسرعة ولا تؤثر فى اللون |
| ٦ | Wacker BS 1306 | W.1306 | لا تؤثر فى لون الأسطح المعالجة |
| ٧ | Wacker SMK 550 | W.550 | تسبب المادة تغيراً طفيفاً فى اللون |
| ٨ | Paraloid – B44 | P.B44 | أعطت المادة تغيراً ملحوظاً ولمعاناً فى اللون |
| ٩ | Gypstop – P17 | G | لم تؤثر المادة فى الأسطح المعالجة بها |
| ١٠ | Silo 111 | S | أعطت المادة تغيراً طفيفاً فى اللون للأسطح الحجرية للعينات المعالجة بها . |

## ب- عينات المونات

تم تقوية عينات المونات باستخدام ستة مواد مقوية أعطت نتائج متباينة من حيث التغيرات اللونية وقد تم استخدام هذه المواد المقوية الستة مع عينات الحجر الجيرى ولم تختلف النتائج كثيراً عن النتائج السابق ذكرها مع عينات الحجر الجيرى حيث نجد أن مادة Primal WS24 أعطت لمعان طفيف لأسطح العينات المعالجة

بها كما أن مادة Dispersion K6 Glanz أدت إلى وجود لمعان ملحوظ على السطح مع تكوين طبقة أو غشاء رقيق على سطح العينات المعالجة ، وبالنسبة لمادة Wacker BS 1306 لم تغير في لون العينات المعالجة ولكنها تنتشر ببطء داخل العينات عند غمرها في محاليلها وقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج من حيث الانتشار والتوغل بسرعة كبيرة داخل عينات المونات كما أنها لم تؤثر في اللون بشكل كامل تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane وربما يرجع ذلك كما ذكرنا لاستخدام مذيب الكحول الإيثيلي لإذابة المادة وهي أيضاً شفافة كما أن مادة Tetra Ethoxy Silane أيضاً لم تسبب تغير ملحوظ في اللون مقارنة بالعينات غر المعالجة . ويوضح الجدول رقم (٤٠) نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لمواد التقوية المختلفة من حيث تأثيرها على عينات المونات المعالجة بها .

**جدول رقم (٤٠) يوضح نتائج التقييم البصرى للتغيرات اللونية لعينات المونات المعالجة بمواد التقوية المختلفة.**

| م | مادة التقوية<br>Consolidant | الرمز | التأثير على المظهر العام<br>Effect On Appearance |
|---|---|---|---|
| ١ | Primal WS 24 | P.WS24 | أعطت المادة لمعان لأسطح العينات وأصبح لون العينات يميل إلى الأبيض |
| ٢ | Dispersion K6 Glanz | D | تسبب المادة تكون غشاء باللون الأبيض رقيق على السطح مع لمعة خفيفة |
| ٣ | Wacker BS 1306 | W.1306 | لم تؤثر فى سطح العينات المعالجة بها وتتشرب ببطء داخل العينات |
| ٤ | Methyl Tri Methoxy Silane | M | تتميز المادة بعدم التأثير فى لون العينات المعالجة بها |
| ٥ | Poly Methy Hydro Siloxane | P | تتوغل بسرعة داخل العينات المعالجة ولم تؤثر لونياً على عينات المونات |
| ٦ | Tetra Ethoxy Silane | T | لم تغير فى لون العينات وتتميز بسرعة الانتشار |

## تعيين الكثافة وامتصاص الماء والمسامية لعينات الحجر الجيرى بعد التقوية

### (أ) الكثافة جم/سم٣ Density

تفاوتت قيم الكثافة حيث أعطت المواد المقوية قيماً مختلفة لزيادة الكثافة وقد حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أعلى قيمة للكثافة الكلية وبلغت ٢,٤٨جم /سم٣ بنسبة زيادة قدرها ١٥,٩% تليها مادة Silo111 وسجلت قيمة مقدارها ٢,٤٢جم /سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ١٣,١% ثم مادة Ethyl Silicate وحققت قيمة قدرها ٢,٣٩ جم /سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ١١,٧ % ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت قيمة مقدارها ٢,٣٨ حجم / سم٣ بزيادة طفيفة فى قيمة الكثافة حيث أعطت قيمة مقدارها ٢,١٦جم / سم٣ بنسبة زيادة عن الكثافة قبل المعالجة مقدارها ٠,٩% والنتائج موضحة بالجدول رقم (٤١) وشكل رقم (٦٣) .

### (ب) امتصاص الماء (٪) Water Abosrption

أنخفضت قيم امتصاص الماء بعد التقوية بالمواد المقوية المختلفة وتفاوتت النتائج بشكل كبير وذلك لأن بعض المواد المقوية تتميز بخاصية المنع ضد الماء Water Repellency ولذلك فقد خفضت من نسبة امتصاص الماء بدرجة كبيرة جداً ونجد من خلال النتائج أن أفضل المواد التى من الممكن استخدامها لعزل الأسطح الحجرية للمئذنة هى مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وقد تم استخدامها ذائبة فى الكحول الإيثيلى Ethyl Alochol بنسبة تركيز ٥% حيث أعطت قيمة لامتصاص الماء مقدارها ٠,١٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٠,٢٤% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٧,٤% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت ٠,٣٣% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٦,٤ والمواد الثلاثة السابقة يستخدم معها مذيب عضوى وتصلح لإجراء عملية العزل للأسطح الحجرية ضد مصادر الرطوبة الجوية وإن كان أفضلها فى حالة مئذنة يشبك من مهدى مادة Poly Methyl Hydro Siloxane التى أعطت أعلى نسبة انخفاض فى قيمة امتصاص الماء يأتى بعد هذه المواد الثلاثة مادة Wacker SMK 550 وقد أعطت نسبة امتصاص للماء مقدارها ٠,٤٨% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٤,٨% وهى تستخدم مخففة على هيئة مستحلب وتستخدم على نطاق واسع فى مجال العزل الأفقى لاساسات وجدران المبانى الأثرية عن مصادر الرطوبة الأرضية وقد أعطت نتيجة جيدة كما أن لا تعطى مركبات ثانوية ضارة حيث ينتج عنها الكحول الإيثيلى الذى يتطاير من على الأسطح ولم تسبب تغير لون الأحجار المعالجة ومن ثم فيمكن استخدامها فى إجراء عملية العزل الأفقى لمئذنة يشبك من مهدى عن مصادر الرطوبة بينما حدث تغير طفيف فى امتصاص الماء للعينة المعالجة بمادة Primal WS24 حيث سجلت قيمة مقدارها ٨,٩١% بنسبة انخفاض مقدارها ٢,٩% والنتائج مدونة بالجدول رقم (٤١) وموضحة بالشكل رقم (٦٣) .

### (جـ) المسامية ٪ Porosity

انخفضت قيم المسامية بنسب متفاوتة حيث حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج وهى ١,٧٥ بنسبة انخفاض مقدارها ٩١,٩ تليها مادة Silo111 وحققت ١,٩٣% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠,١ تليها بفارق طفيف جداً مادة Wacker SMK550 وحققت ١,٩٤% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠% ثم مادة Methyl Tir Methoxy Silane وحققت قيمة مقدارها ١٦,٢٦ بنسبة انخفاض مقدارها ١٦,٥ % والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤١) وموضحه من خلال شكل رقم (٦٣) .

**جدول رقم (٤١) يوضح قيم الخواص الفيزيائية للحجر الجيرى**
**بمئذنة يشبك من مهدى بعد المعالجة بالمواد المقوية**

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | غير معالجة | ٢,١٤ | – | ٩,١٨ | – | ١٩,٤٨ | – |
| $S_1$ | Ethyl Silicate | ٢,٣٩ | ١١,٧ | ٧,٦٤ | ١٦,٨ | ١٠,١٢ | ٤٨,١ |
| $S_2$ | Primal WS24 | ٢,١٩ | ٢,٣ | ٨,٩١ | ٢,٩ | ١٢,٣٦ | ٣٦,٦ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_3$ | Dispersion K6 Glanz | ٢,١٦ | ٠,٩ | ٨,٦٥ | ٥,٨ | ١٠,٨٣ | ٤٤,٤ |
| $S_4$ | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٣٨ | ١١,٢ | ٠,٣٣ | ٩٦,٤ | ٢,١٦ | ٨٨,٩ |
| $S_5$ | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٤٨ | ١٥,٩ | ٠,١٢ | ٩٨,٧ | ١,٥٧ | ٩١,٩ |
| $S_6$ | Wacker BS 1306 | ٢,٣١ | ٧,٩ | ٢,٩٨ | ٦٧,٥ | ٣,٥٥ | ٨١,٨ |
| $S_7$ | Wacker SMK 550 | ٢,٣٦ | ١٠,٣ | ٠,٤٨ | ٩٤,٨ | ١,٩٤ | ٩٠ |
| $S_8$ | Paraloid B44 | ٢,٢٩ | ٧ | ٥,١٥ | ٤٣,٩ | ١١,٧٦ | ٣٩,٦ |
| $S_9$ | Gypstop –P17 | ٢,٢٣ | ٤,٢ | ٨,٢٦ | ١٠ | ١٦,٢٦ | ١٦,٥ |
| $S_{10}$ | Silo111 | ٢,٤٢ | ١٣,١ | ٠,٢٤ | ٩٧,٤ | ١,٩٣ | ٩٠,١ |

## تعيين نسبة المادة الصلبة المتبقية من مادة التقوية بعينات الحجر الجيرى بعد المعالجة

تم حساب نسبة المادة الصلبة المتبقية من مواد التقوية بعد الجفاف التام وعملية التبلمر فى عينات الحجر الجيرى المعالجة وقد تبين أن مادة Ethyl Silcate (Tetra Ethoxy Silane) قد أعطت أفضل النتائج حيث أن نسبة المادة الصلبة المتبقية بلغت ٢,٧% تليها مادة Silo111 حيث بلغت نسبة المادة الصلبة المتبقية ٢,٤% ثم مادة Poly Methyl Hydro Siloxane حيث أعطت قيمة مقدارها ٢,٣% بينما أعطت مادة Paraloid – B44 أقل النتائج لنسبة المادة الصلبة المتبقية وبلغت ١,١% والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٤٢) وممثلة بالشكل رقم (٦٣) .

**جدول رقم (٤٢) يوضح نتائج نسبة المادة الصلبة المتبقية بعينات الحجر الجيرى المعالجة بمواد التقوية المختلفة**

| م | مادة التقوية Consolidant | الرمز | نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) |
|---|---|---|---|
| ١ | Ethyl Silcate (Tetra Ethoxy Silane) | TEOS | ٢,٧ |
| ٢ | Primal WS 24 | P.WS24 | ١,٦ |
| ٣ | Dispersion K6 Glanz | D | ١,٣ |
| ٤ | Methyl Tri Methoxy Silane | MTMOS | ٢,٢٨ |
| ٥ | Poly Methyl Hydro Siloxane | P | ٢,٣ |
| ٦ | Wacker BS 1306 | W.1306 | ٢,١ |
| ٧ | Wacker SMK 550 | W.550 | ٢,٢٥ |

| نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) | الرمز | مادة التقوية Consolidant | م |
|---|---|---|---|
| ١,١ | P.B44 | Paraloid – B44 | ٨ |
| ١,٨ | G | Gypstop – P.17 | ٩ |
| ٢,٤ | S | Silo111 | ١٠ |

## تعيين نسبة المادة الصلبة المتبقية من مادة التقوية بعينات المونات بعد المعالجة

تم حساب نسبة المادة الصلبة المتبقية من مواد التقوية بعد الجفاف التام وعملية التبلمر في عينات المونات المعالجة وقد تبين أن المونة رقم (٨) قد أعطت أفضل النتائج من حيث نسبة المادة الصلبة المتبقية ولكنها تفاوتت وأختلفت باختلاف مواد التقوية حيث أعطت مادة Ethyl Silcate (Tetra Ethoxy Silane) قد أعطت أفضل النتائج حيث أن نسبة المادة الصلبة المتبقية بلغت ٩,٦% تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane حيث بلغت نسبة المادة الصلبة المتبقية ٧,٦% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane حيث أعطت قيمة مقدارها ٦,٨% بينما أعطت مادة Dispersion K6 Glanz أقل النتائج لنسبة المادة الصلبة المتبقية وبلغت ٣,٥% والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٤٣) .

**جدول رقم (٤٣) يوضح قيم نسبة المادة الصلبة المتبقية بعينات المونات بعد إجراء المعالجة بالمواد المقوية المختلفة**

| نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) | المادة المقوية Consolidate | رقم العينة | نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) | المادة المقوية Consolidate | رقم العينة |
|---|---|---|---|---|---|
| – | غير معالجة | 4X | – | غير معالجة | 1X |
| ٢,٦ | Primal WS24 | 4P | ٣,٤ | Primal WS24 | 1P |
| ٢,٢ | Dispersion K6Glanz | 4D | ٢,٨ | Dispersion K6Glanz | 1D |
| ٢,٩ | Wacker BS1306 | 4W | ٤,١ | Wacker BS1306 | 1W |
| ٤,١ | Methyl Tri Methoxy Silane | 4M | ٥,٢ | Methyl Tri Methoxy Silane | 1M |
| ٤,٩ | Poly Methyl Hydro Siloxane | 4PO | ٦,٤ | Poly Methyl Hydro Siloxane | 1PO |
| ٥,٦ | Tetra Ethoxy Silane | 4T | ٧,٣ | Tetra Ethoxy Silane | 1T |
| | | | | | |
| – | غير معالجة | 5X | – | غير معالجة | 2X |
| ٣,٤ | Primal WS24 | 5P | ٣,٩ | Primal WS24 | 2P |
| ٣,١ | Dispersion K6Glanz | 5D | ٣,١ | Dispersion K6Glanz | 2D |
| ٥,٦ | Wacker BS1306 | 5W | ٥,٢ | Wacker BS1306 | 2W |
| ٦,٨ | Methyl Tri Methoxy Silane | 5M | ٦,٣ | Methyl Tri Methoxy Silane | 2M |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) | رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | نسبة المادة الصلبة المتبقية (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٤,٧ | 5PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٣,٧ |
| 2T | Tetra Ethoxy Silane | ٩,٢ | 5T | Tetra Ethoxy Silane | ٨,٢ |
| | | | | | |
| 3X | غير معالجة | – | 6X | غير معالجة | – |
| 3P | Primal WS24 | ٢,٧ | 6P | Primal WS24 | ٣,٦ |
| 3D | Dispersion K6Glanz | ٢.٢ | 6D | Dispersion K6Glanz | ٢,٨ |
| 3W | Wacker BS1306 | ٣,١ | 6W | Wacker BS1306 | ٥,٢ |
| 3M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٤,٣ | 6M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٦,٣ |
| 3PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥,٩ | 6PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٦,٨ |
| 3T | Tetra Ethoxy Silane | ٨,١ | 6T | Tetra Ethoxy Silane | ٧,٥ |
| 7X | غير معالجة | – | 9X | غير معالجة | – |
| 7P | Primal WS24 | ٤,١ | 9P | Primal WS24 | ٣,١ |
| 7D | Dispersion K6Glanz | ٣,٧ | 9D | Dispersion K6Glanz | ٢,٤ |
| 7W | Wacker BS1306 | ٦,٢ | 9W | Wacker BS1306 | ٤,٦ |
| 7M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٦,٧ | 9M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٥,٨ |
| 7PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٧,٣ | 9PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٨,٢ |
| 7T | Tetra Ethoxy Silane | ٨,٨ | 9T | Tetra Ethoxy Silane | ٨,٩ |
| | | | | | |
| 8X | غير معالجة | – | 10X | غير معالجة | - |
| 8P | Primal WS24 | ٤,٣ | 10P | Primal WS24 | ٢,٩ |
| 8D | Dispersion K6Glanz | ٣,٥ | 10D | Dispersion K6Glanz | ٢,٣ |
| 8W | Wacker BS1306 | ٥,٧ | 10W | Wacker BS1306 | ٤,٨ |
| 8M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٦,٨ | 10M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٥,٧ |
| 8PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٧,٦ | 10PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٧,١ |
| 8T | Tetra Ethoxy Silane | ٩,٦ | 10T | Tetra Ethoxy Silane | ٨,٣ |

## تعيين الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى المعالجة بجهاز الموجات فوق الصوتية

تم تعيين الخواص الميكانيكية للعينات المعالجة بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية حيث تم تعيين زمن انتقال الموجات فوق الصوتية خلال العينات بوحدة الميكرو ثانية قبل إجراء عملية المعاينة والتقوية ثم منها حساب سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال العينات بوحدات م / ث وبعد تقوية العينات ومعالجتها

وترك العينات الفترة الكافية لتبلمر المادة المقوية داخلها تم قياس زمن مرور وانتقال الموجات فوق الصوتية خلال العينات بنفس الوحدة وهى وحدة الميكرو ثانية ومنها تم حساب سرعة انتقال الموجات الصوتية خلال العينات المعالجة وبالمقارنة للنتائج السابقة بعينات قياسية أمكن تقدير وتعيين قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد للعينات المعالجة والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٤) وموضحة بالشكل رقم (٦٤) وقد جاءت النتائج كالتالي

## أ- قياس زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات

تم تعيين وقياس زمن مرور الموجات فوق الصوتية للعينات قبل المعالجة حيث سجلت زمن مقداره ١١,٣ ميكرو ثانية ومنه تم حساب سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال العينات قبل المعالجة وسجلت ٢٦٥٤,٩ م / ث ، كما تم تعيين زمن مرور الموجات فوق الصوتية وسرعة مرورها خلال العينات بعد المعالجة وجاءت النتائج متفاوتة مع ملاحظة أن الزمن يتناسب تناسبا عكسيا مع السرعة ولذلك نجد أنه كلما قل زمن مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات كلما زادت سرعتها ومن خلال النتائج اتضح أن مادة Ethyl Silicate سجلت أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغ ٨,٠٤ ميكرو ثانية كما سجلت أعلى سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٣٧٣٣,٦ م / ث تليها مادة Silo 111 وسجلت زمنا مقداره ٨,٥ ميكرو ثانية وسرعة مقدارها ٣٥١٠,٤ م / ث ثم مادة Poly Methy lHydrosiloxane وسجلت زمنا مقداره ٨,٧ ميكرو ثانية وسرعة مقدارها ٣٤٤٣,٥ م / ث ونجد أن اكبر زمن لمرور الموجات فوق الصوتية سجلته مادة Dispersion K6 Glanz وبلغ ١٠,٧ ميكرو ثانية وبالتالي حققت هذه المادة أقل سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٢٨٠٨,٣ م/ث والنتائج موضحة من خلال الجدول رقم (٤٤) .

## ب- تعيين الخواص الميكانيكية للعينات بعد المعالجة

من خلال النتائج السابقة لزمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات المعالجة والعينات قبل المعالجة والتقوية تم حساب قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد للعينات المعالجة وقد جاءت النتائج كالتالي :

### ١- قوة تحمل الضغط كجم / سم٢ Compressive Strength

حققت مادة Ethyl Silicate ( Tetra Ethoxy Silan ) أفضل النتائج وبلغت ٣٧٩,٧ كجم / سم٢ بزيادة مقدارها ٤٠,٦ % تليها مادة Silo 111 وسجلت قيمة مقدارها ٣٥٧ كجم / سم٢ بزيادة مقدارها ٣٢,٢ % ثم مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وحققت قيمة مقدارها ٣٥٠,٢ كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٢٩,٧% ثم إحدى مواد الاكريلك وهى مادة Paraloid B44 وسجلت قيمة مقدارها ٣٤٢,٣ كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٢٦,٨% بينما حققت مادة Dispersion K6 Glanz قيمة طفيفة لزيادة قوة تحمل الضغط وهى أقل قيمة للزيادة وبلغت ٢٨٥,٦ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٥,٨% والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٤) وموضحه بالشكل رقم (٦٤) .

### ٢-قوة تحمل الشد كجم/سم٢ Tensile Strength

لم تختلف قوة تحمل الشد كثيراً من حيث التغير فى القيم وكفاءة المواد المستخدمة عن قوة تحمل الضغط فنجد أن مادة Ethyl Silicate قد أعطت أفضل النتائج لقوة تحمل الشد وبلغت ٣٤,٥ كجم/سم٢ بنسبة زيادة

مقدارها ٤٣,٨% تليها مادة Silo111 بقيمة مقدارها ٣٢,٥ كجم/سم٢ وزيادة مقدارهـا ٣٥,٤% ثـم مـادة Poly Methyl Hydro Siloxane بقيمة مقدارها ٣١,٨% وزيادة بلغت نسبتها ٣٢,٥% بينما أعطت مـادة Dispersion K6 Glanz أقل النتائج حيث بلغت قيمة تحمل الشد ٢٦كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٨,٣% فقـط والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٤) وموضحة بالشكل رقم (٦٤) .

**جدول رقم (٤٤) يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Waves والخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد المعالجة بالمواد المقوية**

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | غير معالجة | ١١,٣ | ٢٦٥٤,٩ | ٢٧٠ | – | ٢٤ | – |
| $S_1$ | Ethyl Silicate | ٨,٠٤ | ٣٧٣٣,٦ | ٣٧٩,٧ | ٤٠,٦ | ٣٤,٥ | ٤٣,٨ |
| $S_2$ | Primal WS24 | ٩,٨ | ٣٠٦٤,٩ | ٣١١,٧ | ١٥,٤ | ٢٨,٣ | ١٧,٩ |
| $S_3$ | Dispersion K6 Glanz | ١٠,٧ | ٢٨٠٨,٣ | ٢٨٥,٦ | ٥,٨ | ٢٦ | ٨,٣ |
| $S_4$ | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٠,٣ | ٢٩١٩,٤ | ٢٩٦,٩ | ١٠ | ٢٧ | ١٢,٥ |
| $S_5$ | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٨,٧ | ٣٤٤٣,٥ | ٣٥٠,٢ | ٢٩,٧ | ٣١,٨ | ٣٢,٥ |
| $S_6$ | Wacker BS 1306 | ١٠,٤ | ٢٨٧٥,٢ | ٢٩٢,٤ | ٨,٣ | ٢٦,٦ | ١٠,٨ |
| $S_7$ | Wacker SMK 550 | ١٠,٢ | ٢٩٥٢,٨ | ٣٠٠,٣ | ١١,٢ | ٢٧,٣ | ١٣,٨ |
| $S_8$ | Paraloid B44 | ٨,٩ | ٣٣٦٥,٨ | ٣٤٢,٣ | ٢٦,٨ | ٣١,١ | ٢٩,٦ |
| $S_9$ | Gypstop –P17 | ٩,٦ | ٣١١٩,٩ | ٣١٧,٣ | ١٧,٥ | ٢٨,٨ | ٢٠ |
| $S_{10}$ | Silo111 | ٨,٥ | ٣٥١٠,٤ | ٣٥٧ | ٣٢,٢ | ٣٢,٥ | ٣٥,٤ |

## الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح للعينات المعالجة

**Scanning Electron Microscope [SEM] Examination**

تم الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] لبعض العينات المعالجة بمواد التقوية للتعرف علـى مدى انتشار وتغلغل المادة المقوية بين حبيبات ومكونات الأحجار وتقييم مدى كفاءتها فى عمليات التقوية وقـد تبين ما يلى :

١- حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane نتيجة جيدة فى تقوية وعزل عينات الحجـر الجـيرى حيث توغلت وانتشرت المادة بين حبيبات الحجر الجيرى وأدت إلى الربط بينها ، كما عملت على تغطية وتغليف الحبيبات لكى تعطيها خاصية المنع ضد الماء وانتشرت بشكل متجانس فى الفجوات والفراغـات والمسام كما يتضح من الصورة رقم (١٠٨).

٢- تبين أن مادة Silo111 قد أعطت نتيجة جيدة فى الربط بين حبيبات الحجر الجيرى للعينات المعالجـة بها وانتشرت بشكل متجانس ومكثف بين الحبيبات ويتضح ذلك من خلال الصورة رقم (١٠٩) .

٣- نجحت مادة Methyl Tri Methoxy Silane فى خفض نسبة امتصاص الماء والمسامية للعينات المعالجة بها وبالتالى تحقيق وظيفة العزل ويتضح ذلك من تغليفها الجيد للحبيبات والربط بينها وتوغلها إلى كل الفراغات والفجوات الموجودة فى نسيج الحجر الجيرى كما يتضح من الصورة رقم(١١٠).

٤- تبين أن مادة Primal WS24 من المواد التى لم تنجح فى الانتشار المتجانس بين حبيبات الحجر الجيرى ووجودها فى هيئة تجمعات داخل الفجوات والفراغات والمسام الموجودة بين حبيبات الحجر الجيرى وكذلك وجودها بكثافة على السطح كما يتضح من الصورة رقم (١١١) وكذلك مادة Dispersion K6 Glanz كما يتضح من الصورة رقم (١١٢) .

٥- نجحت مادة Ethyl Silicate فى ملء الفراغات والمسام الموجودة بين حبيبات الحجر الجيرى وتبلورها بشكل منتظم ومتجانس إلى حد كبير وبالتالى نجاحها فى تقوية عينات الحجر الجيرى المعالجة بها كما يتضح من الصورة رقم (١١٣) .

٦- تبين من خلال الفحص أن مادة Wacker SMK550 من المواد الجيدة فى عزل الحجر الجيرى حيث نجحت فى تغليف وتغطية حبيبات عينات الحجر الجيرى المعالجة بها وبالتالى تحقيقها لوظيفة العزل للحجر الجيرى كما يتضح من الصورة رقم (١١٤) ، كذلك مادة Wacker BS1306 التى تعطى أيضاً نتيجة مرضيه فى تغطية حبيبات الحجر الجيرى وعزلها كما يتضح من الصورة رقم (١١٥) .

٧- تبين أن مادة Gypstop-P17 لم تنجح فى تحقيق وظيفة العزل لعينات الحجر الجيرى حيث لا تتميز بخاصية المنع ضد الماء ولكنها أعطت نتائج جيدة إلى حد ما فى تقوية عينات الحجر الجيرى والانتشار بشكل متجانس ومتشعب بين حبيباتها كما يتضح من الصورة رقم (١١٦) .

ومن خلال الفحص السابق يتبين أن مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قد أعطت أفضل النتائج من حيث عزل عينات الحجر الجيرى الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى وقد اتضح ذلك من خلال الانخفاض الكبير فى نسبة امتصاص الماء والمسامية كما أعطت مادة Ethyl Silicate أفضل النتائج من حيث تقوية عينات الحجر الجيرى لمئذنة يشبك من مهدى أما مادة Silo111 فقد أعطت نتائج جيدة فى تحقيق وظيفتى التقوية والعزل لعينات الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى .

## تعيين الكثافة وامتصاص الماء والمسامية لعينات المونات قبل وبعد المعالجة

تم إعداد عشرة خلطات للمونات وتمثل المونة رقم (١٠) نفس مكونات ونسب المونة المستخدمة لبناء مئذنة يشبك من مهدى والتى تحتوى على الرمل و الجبس والجير بالنسب ١ : ٣ : ١,٥ بالوزن على الترتيب وقد تم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية لها لمعرفة أفضلها من حيث الفيزيائية والميكانيكية لاستخدامه فى أعمال ترميم المئذنة وقد سجلت المونة رقم (٨) والتى تتكون من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الطوب الأحمر بالنسبة ٣ : ٢ : ١ بالوزن على الترتيب ، أفضل النتائج من حيث الخواص الفيزيائية فقد سجلت قيمة للكثافة ٢,٢جم /سم٣ أما نسبة امتصاص الماء فكانت ٦,٥% والمسامية أعطت قيمة مقدارها ١٤,٢ % تليها المونة رقم (٧) والمكونة من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بالنسبة ٣ : ٢ : ١ بالوزن على الترتيب حيث أعطت قيمة للكثافة مقدارها ٢,٢جم /سم٢ أما بالنسبة امتصاص الماء فكانت ٨,١% والمسامية سجلت قيمة مقدارها ١٧,٤% ثم المونة رقم (٢) والتى تتكون من الرمل والجير والأسمنت الأبيض بالنسب ٣ : ١ : ١ بالوزن على الترتيب ، و أعطت قيمة للكثافة مقدارها ٢جم/سم٣ وسجلت نسبة امتصاص الماء قيمة مقدارها ١٠,٤% أما المسامية فأعطت قيمة مقدارها ٢٠,٤% بينما بقية خلطات

المونات لم تعط نتائج جيدة من حيث الخواص الفيزيائية حيث جاءت قيم الكثافة أقل من المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) كما جاءت نسبة امتصاص الماء ونسبة المسامية عالية بشكل ملحوظ مما يجعلها غير جيدة بالنسبة لعمليات الترميم وعلى سبيل المثال لم تعط المونة التى استخدمت لبناء المئذنة والتى تحمل رقم (١٠) قيما جيدة لامتصاص الماء والمسامية حيث سجلت نسبة امتصاص الماء قيمة مقدارها ٣١,٤ وسجلت المسامية قيمة عالية جدا بلغت ٤١,٩ % مما يجعلنا نستبعد استخدامها مرة أخرى فى عمليات الترميم والصيانة لمئذنة يشبك من مهدى ، وقد تم معالجة الخلطات العشرة السابقة للمونات بالبوليمرات المختلفة لمعرفة مدى قدرتها وكفاءتها فى تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذه المونات لاختيار أنسبها وأفضلها لاستخدامه فى عمليات علاج وترميم وصيانة المئذنة وقد جاءت النتائج كالتالى :

## (أ) الكثافة جم / سم٣ Denisty

بالنسبة للمونة رقم (٨) فقد اختلفت قيم الكثافة من مادة مقوية إلى أخرى وقد أعطت مادة Ethyl Silicate ( Tetra Ethoxy Silane ) أفضل النتائج وبلغت ٢,٤جم / سم٣ بمعدل زيادة بلغ ٩% تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وأعطت قيمة مقدارها ٢,٣٩ جم / سم٣ بمعدل زيادة مقداره ٨,٦% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وأعطت قيمة مقدارها ٢,٣٢ % بنسبة زيادة مقدارها ٢,٣٢ جم / سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ٥,٤ % ولم تختلف النتائج بالنسبة للمونتين رقمى (٧)،(٢) حيث أعطت مادة Ethyl Silicate أفضل النتائج تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane والنتائج كاملة لقيم الكثافة قبل وبعد المعالجة بالمواد المقوية المختلفة موضحة بالجدول رقم (٤٥) .

## (ب) امتصاص الماء (٪) Water Absorption

تم استخدام ثلاثة مواد مقوية وعازلة تتميز بخاصية المنع ضد الماء Water Repellency وهم مادة Wacker BS 1306 ومادة Methyl Tri Methoxy Silane مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane ثم مادة Wacker BS 1306 وبالنسبة للمونة رقم (٨) فقد أعطت Poly Methyl Hydro Siloxane قيمة مقدارها ٠,٢٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٤,٤% ثم مادة Wacker BS 1306 وأعطت ٠,٨٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٧,٣% أما المونة رقم (٧) فقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قيمة مقدارها ٠,٤٩% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٣,٩% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وأعطت ٠,٩٥% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٨,٢% ثم مادة Wacker BS 1306 أعطت قيمة مقدارها ١,٢ % بنسبة انخفاض مقدارها ٨٥,١% وبالنسبة للمونة رقم (٢) فقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قيمة مقدارها ٠,٧% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٣,٢% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وأعطت ١,٣% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٧,٥% ثم Wacker BS 1306 وأعطت قيمة مقدارها ١,٨% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٢,٦% ونتائج نسبة امتصاص الماء للمونات بعد المعالجة بالمواد المقوية والعازلة المختلفة موضحة بالجدول رقم (٤٥) .

## جـ) المسامية (٪) Porosity

تفاوتت قيمة المسامية وقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج من حيث تخفيض نسبة المسامية تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane ثم مادة Wacker BS 1306 وبالنسبة للمونة رقم (٨) فقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قيمة مقدارها ١,٣% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠,٨% تليها مادة Wacker BS 1306 وأعطت قيمة مقدارها ١,٩٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٦,٤% والنتائج كاملة موضحة بالجدول رقم (٤٥) .

**جدول رقم (٤٥) يوضح قيم الخواص الفيزيائية للمونات بعد إجراء المعالجة بالمواد المقوية المختلفة**

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1X | غير معالجة | ١,٩ | – | ١٦,٢ | – | ٢٩,٦ | – |
| 1P | Primal WS24 | ١,٩٢ | ١,٠٥ | ١٥ | ٧,٤ | ٢٨,٨ | ٢,٧ |
| 1D | Dispersion K6Glanz | ١,٨٩ | -٠,٥٢ | ١٤,٨ | ٨,٤ | ٢٨ | ٥,٤ |
| 1W | Wacker BS1306 | ١,٩٢ | ١,٠٥ | ٢,٩ | ٨١,٩ | ٥,٣ | ٨٢ |
| 1M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٩٤ | ٢,١١ | ٢,٤ | ٨٤,٨ | ٤,٨ | ٨٣,٧ |
| 1PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٥ | ٢,٦٣ | ٢ | ٨٧,١ | ٤ | ٨٦,٤ |
| 1T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩٧ | ٣,٦٨ | ١٤ | ١٣,٥ | ٢٧,٦ | ٦,٧ |
| | | | | | | | |
| 2X | غير معالجة | ٢ | – | ١٠,٤ | – | ٢٠,٤ | – |
| 2P | Primal WS24 | ٢,١١ | ٥,٥ | ٨,٤ | ١٩,٢ | ١٧,١ | ١٦,١ |
| 2D | Dispersion K6Glanz | ٢,١٣ | ٦,٥ | ٩,٢ | ١١,٥ | ١٥,٣ | ٢٥,١ |
| 2W | Wacker BS1306 | ٢,١٨ | ٩ | ١,٨ | ٨٢,٦ | ٣,١ | ٨٤,٨ |
| 2M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,١٥ | ٧,٥ | ١,٣ | ٨٧,٥ | ٢,٩ | ٨٥,٧ |
| 2PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٣ | ١٥ | ٠,٧ | ٩٣,٢ | ٢,٤ | ٨٨,٢ |
| 2T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤ | ٢٠ | ٦,٩ | ٣٣,٦ | ١٤,٧ | ٢٧,٩ |
| | | | | | | | |
| 3X | غير معالجة | ١,٦ | – | ٢٢,٥ | – | ٣٦,١ | – |
| 3P | Primal WS24 | ١,٩٧ | ٢٣,١٢٥ | ٢١,٩ | ٤,٤ | ٣٥,٦ | ١,٣ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3D | Dispersion K6Glanz | ١,٧٥ | ٩,٣٧٥ | ١٣,٨ | ٣٨,٦ | ٣٠,٢ | ١٦,٣ |
| 3W | Wacker BS1306 | ١,٨٧ | ١٦.٨٧٥ | ٣,١ | ٨٦,٢ | ٥,٦ | ٨٤,٤ |
| 3M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٨٩ | ١٨,١٢٥ | ٢,٩ | ٨٦,٨ | ٥,٢ | ٨٥,٥ |
| 3PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩ | ١٨,٧٥ | ٢,٩ | ٨٧,١ | ٤,٨ | ٨٦,٧ |
| 3T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,١ | ٣١,٢٥ | ١٩,١ | ١٥,١ | ٢٨,٣ | ٢١,٦ |
| | | | | | | | |
| 4X | غير معالجة | ١,٦٠ | – | ٢٣,٦ | – | ٣٦,٥ | – |
| 4P | Primal WS24 | ١,٦٤ | ٢.٥ | ٢٢,٧ | ٣,٨ | ٣٢,٨ | ١٠,١ |
| 4D | Dispersion K6Glanz | ١,٦٢ | ١,٢٥ | ٢٢,٢ | ٥,٩ | ٣١,٩ | ١٢,٦ |
| 4W | Wacker BS1306 | ١,٧١ | ٦,٨٧٥ | ٣,٦ | ٨٤,٧ | ٥,٩ | ٨٣,٨ |
| 4M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٧٩ | ١١,٨ | ٢,٩ | ٨٧,٧ | ٥,٢ | ٨٥,٧٥ |
| 4PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٨٥ | ١٥,٦ | ٢,٨٥ | ٨٧,٩ | ٤,٨ | ٨٦,٨٤ |
| 4T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩ | ١٨,٧ | ١٥,١٤ | ٣٥,٨ | ٢٣,٤ | ٣٥,٨٩ |
| | | | | | | | |
| 5X | غير معالجة | ١,٧ | – | ١٩,١ | – | ٣٢ | – |
| 5P | Primal WS24 | ١,٧١ | ٠,٥ | ١٤,٦ | ٢٣,٥ | ٢٨,٧ | ١٠,٣١ |
| 5D | Dispersion K6Glanz | ١,٧٤ | ٢,٣ | ١٣,٨ | ٢٧,٧ | ٢٧,٢ | ١٥ |
| 5W | Wacker BS1306 | ١,٧٧ | ٤,١٠ | ٣.٣ | ٨٢,٧ | ٦,٩ | ٧٨,٤٣ |
| 5M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٨٢ | ٨.٨ | ٣,١ | ٨٣,٧ | ٦,٤ | ٨٠ |
| 5PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٥ | ١٤,٧ | ٢,٨ | ٨٥,٣ | ٤,٨ | ٨٥ |
| 5T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,١ | ٢٣,٥ | ١٢,٦ | ٣٤ | ٢٢,٣ | ٣٠,٣١ |
| | | | | | | | |
| 6X | غير معالجة | ١,٨ | – | ١٨,٩ | – | ٣٢,٧ | – |
| 6P | Primal WS24 | ١,٨٩ | ٥ | ١٤,٣ | ٢٤,٣ | ٢٦,٢ | ١٩,٨٧ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6D | Dispersion K6Glanz | ١,٩٢ | ٦.٦ | ١٦,٥ | ١٢,٦ | ٢٤,١ | ٢٦,٢٩ |
| 6W | Wacker BS1306 | ٢ | ١١,١ | ٢,٩٦ | ٨٤,٣ | ٤,٦ | ٨٥,٩٣ |
| 6M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٩ | ٥.٥ | ٢,٣٧ | ٨٧,٤ | ٤ | ٨٧,٧٦ |
| 6PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,١ | ١٦,٦ | ١,٩٢ | ٨٩,٨ | ٣,٢٨ | ٨٩,٩٦ |
| 6T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤ | ٣٣,٣ | ١٢,٤ | ٣٤,٣ | ١٨,٩ | ٤٢,٢٠ |
| | | | | | | | |
| 7X | غير معالجة | ٢.٢ | – | ٨,١ | – | ١٧,٤ | – |
| 7P | Primal WS24 | ٢,٣ | ٤,٥ | ٦,٢ | ٢٣,٤ | ١٤,٦ | ١٩,١٧ |
| 7D | Dispersion K6Glanz | ٢,٣٥ | ٦,٨ | ٥,٩ | ٢٧,١ | ١٢,٤ | ٢٨,٧٤ |
| 7W | Wacker BS1306 | ٢,٣٩ | ٨,٦ | ١.٢ | ٨٥,١ | ٢,٤ | ٨٦,٢٠ |
| 7M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٣٢ | ٥,٤ | ٠,٩٥ | ٨٨,٢ | ٢,١ | ٨٧,٩٣ |
| 7PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٤ | ٩ | ٠,٤٩ | ٩٣,٩ | ١,٩ | ٨٩,٩٧ |
| 7T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤٩ | ١٣,١ | ٤,٢ | ٤٨,٢ | ٨,٥ | ٥١,١٤ |
| | | | | | | | |
| 8X | غير معالجة | ٢.٢ | – | ٦,٥ | – | ١٤,٢ | – |
| 8P | Primal WS24 | ٢,٢١ | ٠,٤ | ٤,١١ | ٣٦.٧ | ٩,٢ | ٣٥,٢ |
| 8D | Dispersion K6Glanz | ٢,٢٣ | ١,٣ | ٣,٢٤ | ٥٠,١ | ٨,٥ | ٤٠,١ |
| 8W | Wacker BS1306 | ٢,٢٧ | ٣,١ | ٠,٨٢ | ٨٧,٣ | ١,٩٢ | ٨٦,٤ |
| 8M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٣٢ | ٥,٤ | ٠,٣٦ | ٩٤,٤ | ١,٥ | ٨٩,٤ |
| 8PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٣٩ | ٨,٦ | ٠,٢٢ | ٩٦,٦ | ١,٣ | ٩٠,٨ |
| 8T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤ | ٩ | ٣,١٢ | ٥٢ | ٠,٨ | ٥٩,١ |
| | | | | | | | |
| 9X | غير معالجة | ١,٣ | – | ٣٥,٧ | – | ٤٤,٧ | – |
| 9P | Primal WS24 | ١,٣٩ | ٦,٩ | ٢٩,٥ | ١٧,٣ | ٤٠,٣ | ٩,٨ |
| 9D | Dispersion K6Glanz | ١,٤٢ | ٩,٢ | ٢٩,٨ | ١٦,٥ | ٤٢,١ | ٥,٨ |
| 9W | Wacker BS1306 | ١,٤٦ | ١٢,٣ | ٤,٩ | ٨٦,٢ | ١٢,٩ | ٧١,١ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٧٥ | ٣٤,٦ | ٥,٢ | ٨٥,٤ | ١٥,٣ | ٦٥,٧ |
| 9PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٨٢ | ٤٠ | ٤,٨ | ٨٦,٥ | ١٢,٦ | ٧١,٨ |
| 9T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩٨ | ٥٢,٣ | ٢٦,٩ | ٢٤,٦ | ٣٥,٤ | ٢٠,٨ |
| | | | | | | | |
| 10X | غير معالجة | ١,٣ | - | ٣١,٤ | - | ٤١,٩ | - |
| 10P | Primal WS24 | ١,٦٨ | ٢٩,٢ | ٢١,٥ | ٣١,٥ | ٣١,٥ | ٢٤,٨ |
| 10D | Dispersion K6Glanz | ١,٨٨ | ٤٤,٦ | ٢٤,٣ | ٢٢,٦ | ٣٣,٦ | ١٩,٨ |
| 10W | Wacker BS1306 | ١,٧٦ | ٣٥,٣ | ١٣,٢ | ٥٧,٩ | ٢٠,٧ | ٥٠,٥ |
| 10M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٥٣ | ١٧,٦ | ١٤,٦ | ٥٣,٥ | ٢١,٦ | ٤٨.٤ |
| 10PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٨٩ | ٤٥,٣ | ١٢,٩ | ٥٨,٩ | ١٩,٢ | ٥٤,١ |
| 10T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩ | ٤٦,١ | ١٩,٧ | ٣٧,٢ | ٢٨,٣ | ٣٢,٤ |

ومن خلال النتائج السابقة نجد أن المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) قد أعطت أفضل النتائج بعد المعالجة بمواد التقوية المختلفة والنتائج ممثلة من خلال الأشكال أرقام (٦٥)،(٦٦)،(٦٧) على الترتيب .

## تعيين الخواص الميكانيكية لعينات المونات المعالجة بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية

تم تعيين قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد لعينات المونات المعالجة بواسطة قياس زمن الموجات فوق الصوتية خلال العينات ومنها أمكن تقدير كل من قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٦) وقد جاءت النتائج كالتالى :

### (أ) قياس زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات :

تم تعيين زمن مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات قبل المعالجة وذلك بالنسبة لأنواع المونات العشرة التى إعدادها للاختبار ، كما تم تعيين سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية وقد أعطت المونة رقم (٢) قبل المعالجة زمن انتقال للموجات فوق الصوتية مقداره ٦١,٣ ميكروثانية وسرعة مقدارها ٨١٥,٧ م/ث بينما أعطت العينة المعالجة بمادة Tetra Ethoxy Silane (Ethyl Silicate ) أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وهو ٣٠,٠٢ ميكروثانية وبالتالى أعطت أعلى سرعة لانتقال الموجات فوق الصوتية خلالها وهو ١٦٦٥,٧ م/ث تليها العينة المعالجة بمادة Dispersion K6 Glanz حيث أعطت زمن انتقال للموجات فوق الصوتية مقداره ٣٢,٤ميكروثانية وسرعة انتقال للموجات فوق الصوتية مقداره ١٥٤٤,٣م/ث ، أما

المونة رقم (٨) فقد أعطت قبل المعالجة زمن مرور للموجات فوق الصوتية مقداره ١٩,٣ميكروثانية وسرعة مرور للموجات فوق الصوتية خلالها بلغت ٢٥٩٠,٧م/ث ، والعينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Tetra Ethoxy Silane سجلت أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية وبلغ ١٣,١ ميكروثانية وسرعة انتقال للموجات فوق الصوتية بلغ ٣٨٢١,٥ م/ث تليها العينة من المونة رقم (٨ والمعالجة بمادة Poly Methyl Hydro Siloxane وسجلت زمن مقداره ١٤,٤ ميكروثانية وسرعة مقدارها ٣٤٧٥,٤ م/ث ، وبالنسبة للمونة رقم (٧) فقد أعطت قبل المعالجة زمن مرور للموجات فوق الصوتية مقداره ١٨,٥ ميكروثانية وسرعة مرور للموجات فوق الصوتية خلالها بلغت ٢٧٢,٧ وقد سجلت العينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Primal WS24 أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغ ١٢,٦ ميكروثانية وبالتالى أكبر سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٣٩٥٤,٧ م/ث والنتائج كاملة موضحه بالجدول رقم (٤٦) .

## (ب) تعيين الخواص الميكانيكية لعينات المونات بعد المعالجة

من خلال النتائج السابقة لزمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال عينات المونات قبل وبعد المعالجة بالمواد المقوية المختلفة تم حساب قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد للعينات وقد جاءت النتائج كالتالى :

### ١- قوة تحمل الضغط كجم / سم٢ Compressive Strength

حققت المونة رقم (٨) أفضل النتائج من حيث قوة تحمل الضغط حيث أعطت العينة الممثلة لها قوة تحمل ضغط مقدارها ٢٤٤,٨ كجم/سم٢ وقد حققت مادة Ethyl Silicate ( Tetra Ethoxy Silane ) أفضل النتائج وبلغت ٣٦١,١ كجم / سم٢ بزيادة مقدارها ٤٧,٥ % تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وحققت قيمة مقدارها ٣٢٨,٤ كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٣٤,١% بينما حققت مادة Primal Methyl Tri Methoxy Silane قيمة طفيفة لزيادة قوة تحمل الضغط وهى أقل قيمة للزيادة وبلغت ٢٤٩,٧ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٢% والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٦) .

### ٢- قوة تحمل الشد كجم/سم٢ Tensile Strength

لم تختلف قوة تحمل الشد كثيراً من حيث التغير فى القيم وكفاءة المواد المستخدمة عن قوة تحمل الضغط فنجد أن المونة رقم (٨) أعطت أفضل القيم حيث بلغت قيمة قوة تحمل الشد للعينة الممثلة لها ٤٠,٨كجم/سم٢ وبعد المعالجة أعطت مادة Ethyl Silicate قد أعطت أفضل النتائج لقوة تحمل الشد وبلغت ٦٠,٢ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٤٧,٥% تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بقيمة مقدارها ٥٤,٧كجم/سم٢ وزيادة بلغت نسبتها ٣٤,١% بينما أعطت مادة Methyl Tri Methoxy Silane أقل النتائج حيث بلغت قيمة تحمل الشد ٤١,٦كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ١,٩% فقط والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٦).

جدول رقم (٤٦) يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخواص الميكانيكية لعينات المونات قبل وبعد المعالجة بمواد التقوية

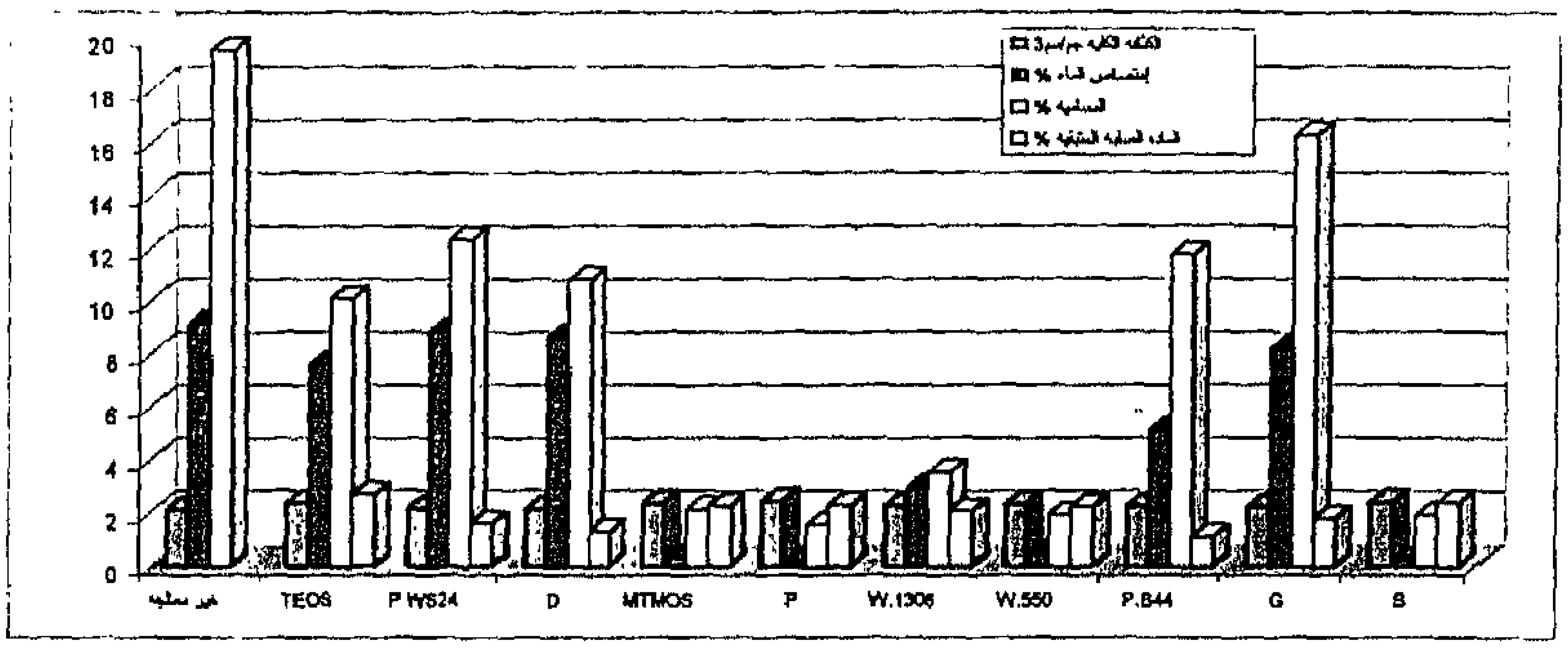
| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1X | غير معالجة | ٦٥,١ | ٧٦٨,١ | ٨,٢ | – | ١,٣٧ | – |
| 1P | Primal WS24 | ٣٩ | ١٢٨٣,٣ | ١٣,٧ | ٦٧ | ٢,٢٩ | ٦٧,١ |
| 1D | Dispersion K6Glanz | ٥٥,٦ | ٨٩٩,٢ | ٩,٦ | ١٧ | ١,٦ | ١٤,٣ |
| 1W | Wacker BS1306 | ٥٤,٥ | ٩١٨ | ٩,٨ | ١٩,٥ | ١,٦٣ | ١٨,٩ |
| 1M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٥٣,٤ | ٩٣٦,٧ | ١٠ | ٢١,٩ | ١,٦٧ | ٢١,٨ |
| 1PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥٦,٨ | ٨٨٠,٥ | ٩,٤ | ١٤,٦ | ١,٥٧ | ١٤,٥ |
| 1T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٢,٥ | ١٥٣٦,٢ | ١٦,٤ | ١٠٠ | ٢,٧٣ | ٩٩,٢ |
| | | | | | | | |
| 2X | غير معالجة | ٦١,٣ | ٨١٥,٧ | ٥٧,١ | – | ٩,٥ | – |
| 2P | Primal WS24 | ٣٨,٣ | ١٣٠٧,١ | ٩١,٥ | ٦٠,٢ | ١٥,٣ | ٦١ |
| 2D | Dispersion K6Glanz | ٣٢,٤ | ١٥٤٤,٣ | ١٠٨,١ | ٨٩,٣ | ١٨ | ٨٩,٤ |
| 2W | Wacker BS1306 | ٣٥,٧ | ١٤٠٠ | ٩٨ | ٧١,٦ | ١٦,٣ | ٧١,٥ |
| 2M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٤٣,٢ | ١١٥٨,٦ | ٨١,١ | ٤٢ | ١٣,٥ | ٤٢,١ |
| 2PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥٦,٣ | ٨٨٨,٦ | ٦٢,٢ | ٨,٩ | ١٠,٤ | ٩,٤ |
| 2T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٠,٠٢ | ١٦٦٥,٧ | ١١٦,٦ | ١٠٤,٢ | ١٩,٤ | ١٠٤,٢ |
| | | | | | | | |
| 3X | غير معالجة | ٦٠,٤ | ٨٢٧,٨ | ١,١ | – | ٠,٢٢ | – |
| 3P | Primal WS24 | ٤٧,٥ | ١٠٥٣,٦ | ١,٤ | ٢٧,٢ | ٠,٢٨ | ٢٧,٢ |
| 3D | Dispersion K6Glanz | ٧,٣ | ٦٨٤٨,٢ | ٩,١ | ٧٢٧,٢ | ١,٨ | ٧١٨,٢ |
| 3W | Wacker BS1306 | ٣٦,٩ | ١٣٥٤,٦ | ١,٨ | ٦٣,٣ | ٠,٣٦ | ٦٣,٦ |

| رقم العينة | المادة المقوية **Conslidant** | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٤,٨ | ٣٣٨٦,٥ | ٤,٥ | ٣٠٩ | ٠,٧٥ | ٢٤٠,٩ |
| 3PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٦,٦ | ١٨٨١,٤ | ٢,٥ | ١٢٧,٢ | ٠,٥ | ١٢٧,٣ |
| 3T | Tetra Ethoxy Silane | ٥,٠٣ | ٩٩٣٣ | ١٣,٢ | ١١٠٠ | ٢,٦ | ١٠٨,٨ |
| | | | | | | | |
| 4X | غير معالجة | ٦١,١ | ٨١٨,٣ | ٢,٥ | – | ٠,٥ | – |
| 4P | Primal WS24 | ٣٢,٥ | ١٥٣٨,٤ | ٤,٧ | ٨٨ | ٠,٩٤ | ٨٨ |
| 4D | Dispersion K6Glanz | ٥٦,٦ | ٨٨٣,٨ | ٢,٧ | ٨ | ٠,٥٤ | ٨ |
| 4W | Wacker BS1306 | ٥٢,٧ | ٩٤٩,٢ | ٢,٩ | ١٦ | ٠,٥٨ | ١٦ |
| 4M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٣٢,٥ | ١٥٣٨,٤ | ٤,٧ | ٨٨ | ٠,٩٤ | ٨٨ |
| 4PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٤٦,٣ | ١٠٨٠,٢ | ٣,٣ | ٣٢ | ٠,٦٦ | ٣٢ |
| 4T | Tetra Ethoxy Silane | ١٥ | ٣٣٣٨,٧ | ١٠,٢ | ٣٠٨٠ | ٢ | ٣٠٠ |
| | | | | | | | |
| 5X | غير معالجة | ١٢٨,٢ | ٣٩٠ | ٣,١ | – | ٠,٦٢ | – |
| 5P | Primal WS24 | ٦٧,٤ | ٧٤٢,٣ | ٥,٩ | ٩٠,٣ | ١,١٨ | ٩٠,٣ |
| 5D | Dispersion K6Glanz | ٧٢,٣ | ٦٩٢ | ٥,٥ | ٧٧,٤ | ١,١ | ٧٧,٤ |
| 5W | Wacker BS1306 | ١١٣,٦ | ٤٤٠,٣ | ٣,٥ | ٩٧,٧ | ٠,٧ | ١٢,٩ |
| 5M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٦٥,٢ | ٧٦٧,٤ | ٦,١ | ٩٦,٧ | ١,٢٢ | ٩٦,٨ |
| 5PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٠٧,٣ | ٤٦٥,٨ | ٣,٧ | ١٩,٣ | ٠,٧٤ | ١٩,٤ |
| 5T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٩ | ١٢٨٣,٢ | ١٠,٦ | ٢٤١,٩ | ٢,١٢ | ٢٤١,٩ |

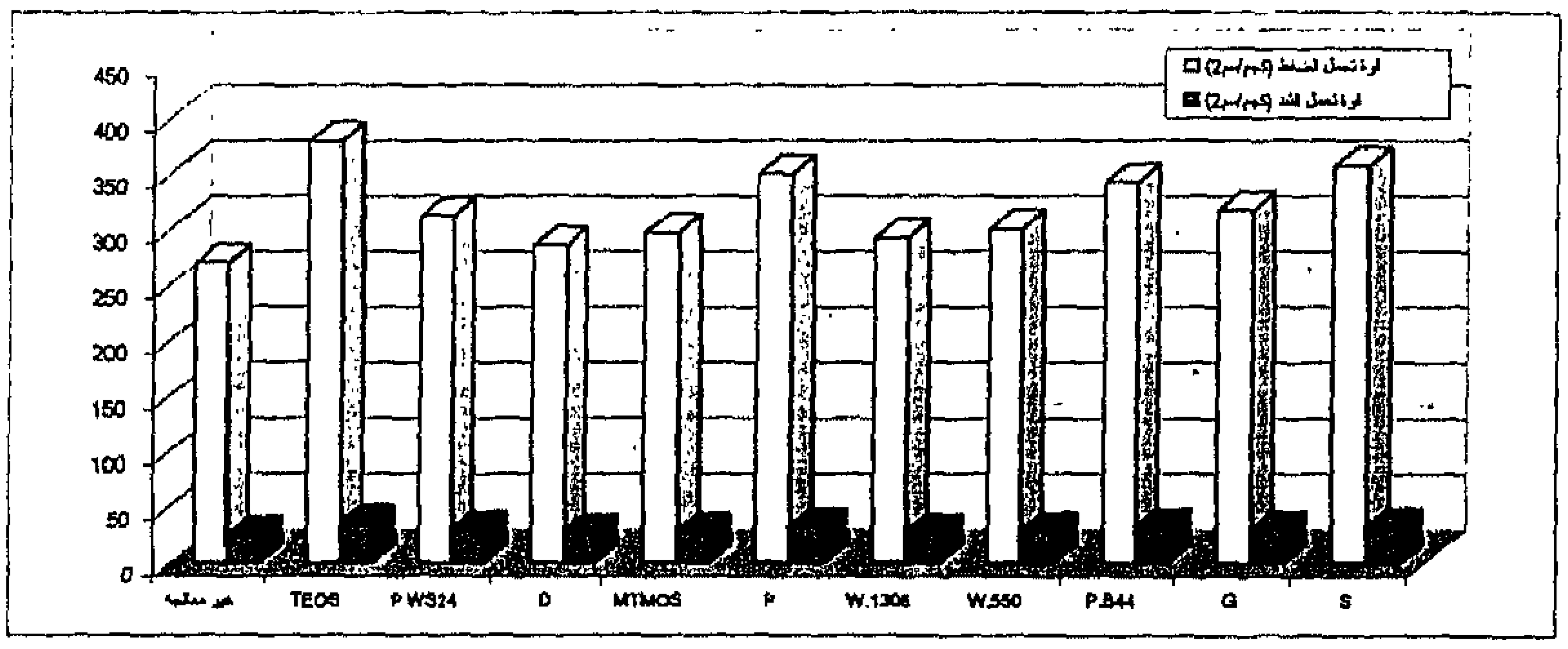
| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6X | غير معالجة | ٣١,٦ | ١٥٨٢,٣ | ٢٤,٥ | – | ٤,٩ | – |
| 6P | Primal WS24 | ٢٤,٧ | ٢٠٢٧,٩ | ٣١,٤ | ٢٨,١ | ٦,٣ | ٢٨,٦ |
| 6D | Dispersion K6Glanz | ٢٢,٨ | ٢١٨٩,٤ | ٣٣,٩ | ٣٨,٣ | ٦,٨ | ٣٨,٨ |
| 6W | Wacker BS1306 | ٢٦ | ١٩٢٤,٦ | ٢٩,٨ | ٢١,٦ | ٦ | ٢٢,٤ |
| 6M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢٦,٧ | ١٨٧٢,٩ | ٢٩ | ١٨,٣ | ٥,٨ | ١٨,٣ |
| 6PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٨ | ١٧٨٩ | ٢٧,٧ | ١٣ | ٥,٥ | ١٢,٢ |
| 6T | Tetra Ethoxy Silane | ٢٠ | ٢٥٠٥,٨ | ٣٨,٨ | ٥٨,٣ | ٧,٨ | ٥٩,١٨ |
| | | | | | | | |
| 7X | غير معالجة | ١٨,٥ | ٢٧٠٢,٧ | ١٦٧,٣ | – | ٢٧,٩ | ٤٦,٢ |
| 7P | Primal WS24 | ١٢,٦ | ٣٩٥٤,٧ | ٢٤٤,٨ | ٤٦,٥ | ٤٠,٨ | ٤٦,٢ |
| 7D | Dispersion K6Glanz | ١٧,٠٤ | ٢٩٣٣,٧ | ١٨١,٦ | ٨,٥ | ٣٠,٣ | ٨,٦ |
| 7W | Wacker BS1306 | ١٥,٢ | ٣٢٩٥,٦ | ٢٠٤ | ٢١,٩ | ٣٤ | ٢١,٩ |
| 7M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٨,٣ | ٢٧٣٥ | ١٦٩,٣ | ١,١٩ | ٢٨,٢ | ١,٨ |
| 7PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٨,٤ | ٢٧١٥,٦ | ١٦٨,١ | ٠,٤٧ | ٢٨ | ٠,٣ |
| 7T | Tetra Ethoxy Silane | ١٣,١ | ٣٨٢١.٢ | ٢٣٦,٦ | ٤١,٤ | ٣٩,٤ | ٤١,٢ |
| | | | | | | | |
| 8X | غير معالجة | ١٩,٣ | ٢٥٩٠,٧ | ٢٤٤,٨ | – | ٤٠,٨ | – |
| 8P | Primal WS24 | ١٧,٠٣ | ٢٩٣٥,٧ | ٢٧٧,٤ | ١٣,٣ | ٤٦,٢ | ١٣,٢ |
| 8D | Dispersion K6Glanz | ١٦,١ | ٣١٠٩,٣ | ٢٩٣,٨ | ٢٠ | ٤٨,٩ | ١٩,٩ |
| 8W | Wacker BS1306 | ١٤,٨ | ٣٣٦٧,٥ | ٣١٨,٢ | ٢٩,٩ | ٥٣ | ٢٩,٩ |
| 8M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٩ | ٢٦٤٢,٦ | ٢٤٩,٧ | ٢ | ٤١,٦ | ١,٩ |

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٤,٤ | ٣٤٧٥,٤ | ٣٢٨,٤ | ٣٤,١ | ٥٤,٧ | ٣٤,١ |
| 8T | Tetra Ethoxy Silane | ١٣,١ | ٣٨٢١,٥ | ٣٦١,١ | ٤٧,٥ | ٦٠,٢ | ٤٧,٥ |
| | | | | | | | |
| 9X | غير معالجة | ٤٠,٥ | ١٢٣٤,٦ | ٧,١ | - | ١,٤ | - |
| 9P | Primal WS24 | ٢٧,١ | ١٨٤٣,٢ | ١٠,٦ | ٤٩,٢ | ٢,١ | ٥٠ |
| 9D | Dispersion K6Glanz | ٢٨,٢ | ١٧٧٣,٧ | ١٠,٢ | ٤٣,٦ | ٢,٠٤ | ٤٥,٧ |
| 9W | Wacker BS1306 | ٢٣,٦ | ٢١٢١,٤ | ١٢,٢ | ٧١,٨ | ٢,٤ | ٧١,٤ |
| 9M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢٦,٦ | ١٨٧٧,٩ | ١٠,٨ | ٥٢,١ | ٢,٢ | ٥٧,١ |
| 9PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٧,١ | ١٨٤٣,٢ | ١٠,٦ | ٤٩,٢ | ٢,١ | ٥٠ |
| 9T | Tetra Ethoxy Silane | ٢٣ | ٢١٧٣,٦ | ١٢,٥ | ٧٦,٠ | ٢,٥ | ٧٣,٣ |
| | | | | | | | |
| 10X | غير معالجة | ٥١,١ | ٩٧٨,٥ | ٣٠,٦ | - | ٦,١ | - |
| 10P | Primal WS24 | ٤٠,٣ | ١٢٤٠,٧ | ٢٨,٨ | ٢٦,٧ | ٧,٧ | ٢٦,٢ |
| 10D | Dispersion K6Glanz | ٤٩,٢ | ١٠١٦,٩ | ٣١,٨ | ٣,٩ | ٦,٤ | ٤,٩ |
| 10W | Wacker BS1306 | ٤٦,٧ | ١٠٧١,٢ | ٣٣,٥ | ٩,٤ | ٦,٧ | ٩,٨ |
| 10M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٣٨,٣ | ١٣٠٤,٧ | ٤٠,٨ | ٣٣,٣ | ٨,٢ | ٣٤,٤ |
| 10PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٤٠,٢ | ١٢٤٣,٩ | ٣٨,٩ | ٢٧,١ | ٧,٨ | ٢٧,٨ |
| 10T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٠,٧ | ١٦٣٠,٨ | ٥١ | ٦٦,٦ | ١٠,٢ | ٦٧,٢ |

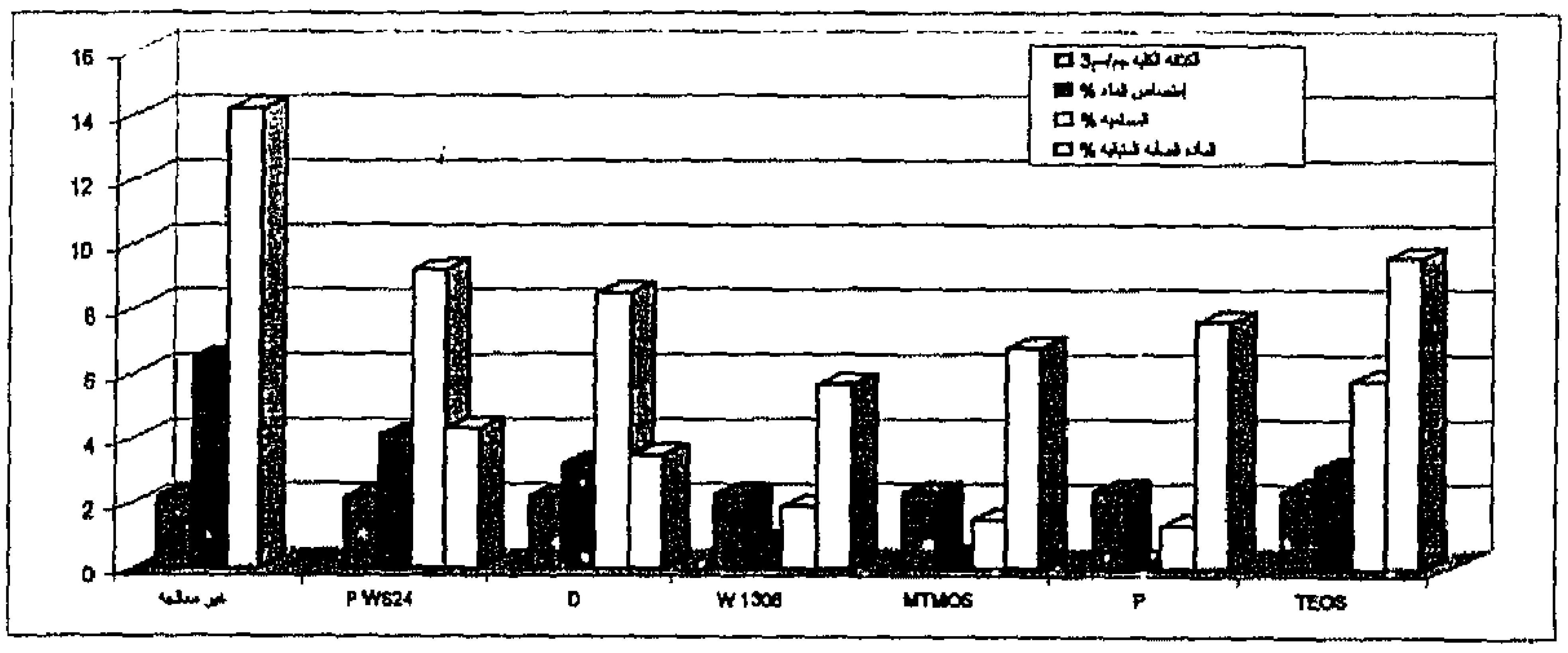
نجد أيضاً من خلال النتائج السابقة أن المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) أعطت أفضل النتائج بعد المعالجة بمـــواد التقوية المختلفة ويتضح ذلك من خلال الأشكال ارقام (٦٨)،(٦٩)،(٧٠) على الترتيب .



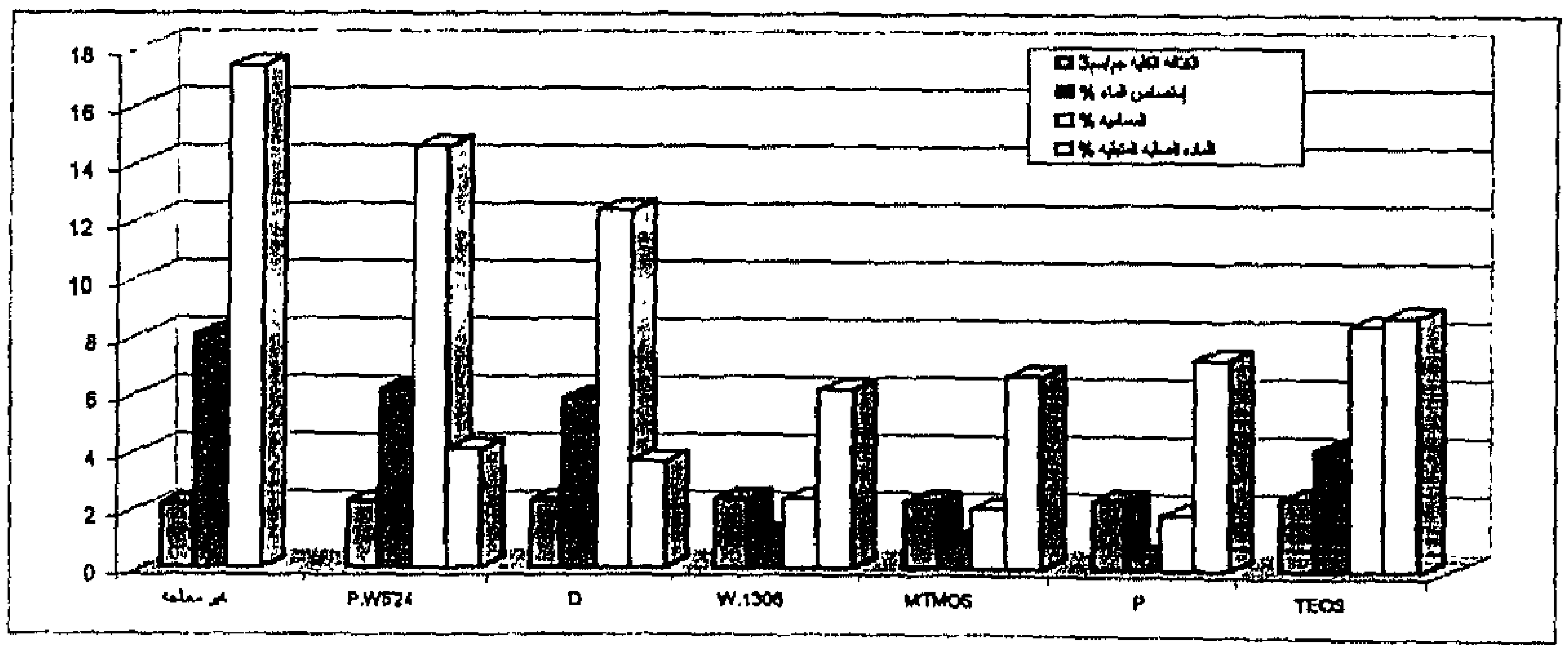

شكل رقم (٦٣) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية



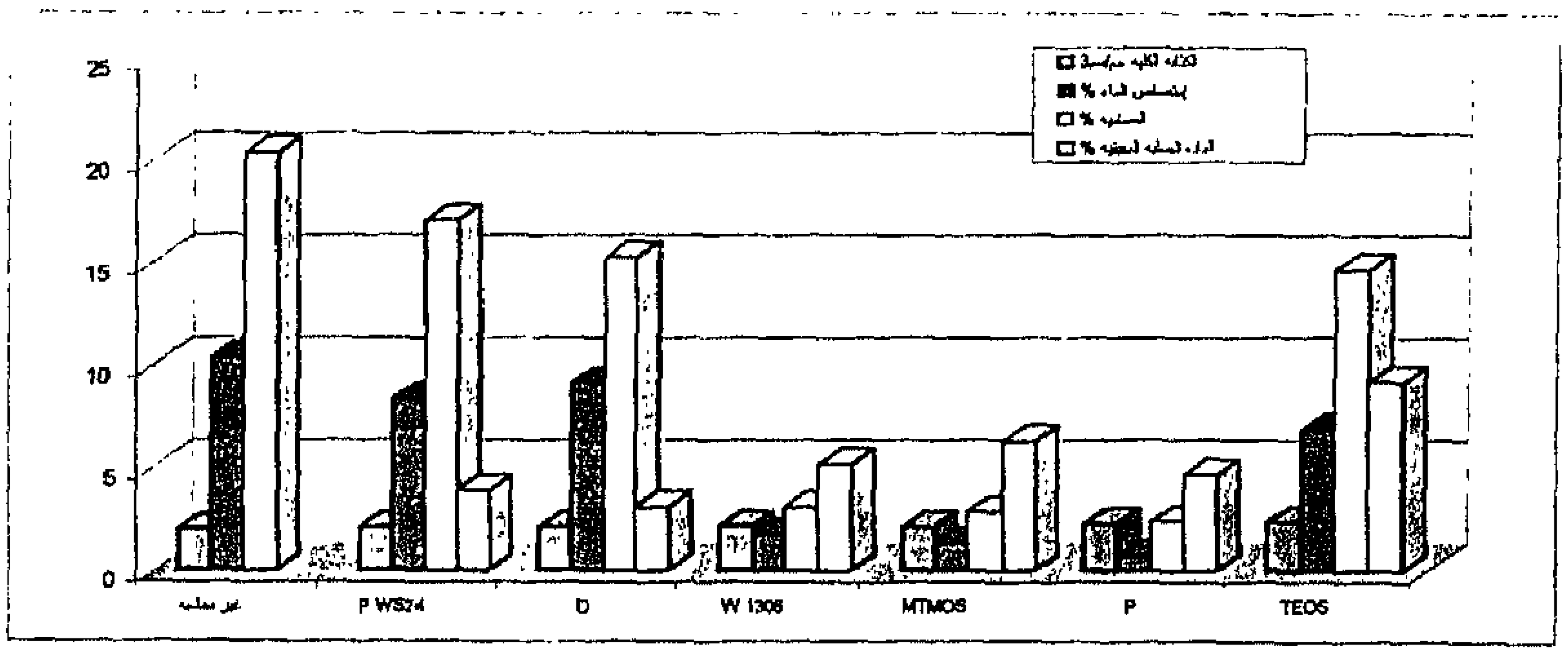

شكل رقم (٦٤) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى قبل وبعد التقوية



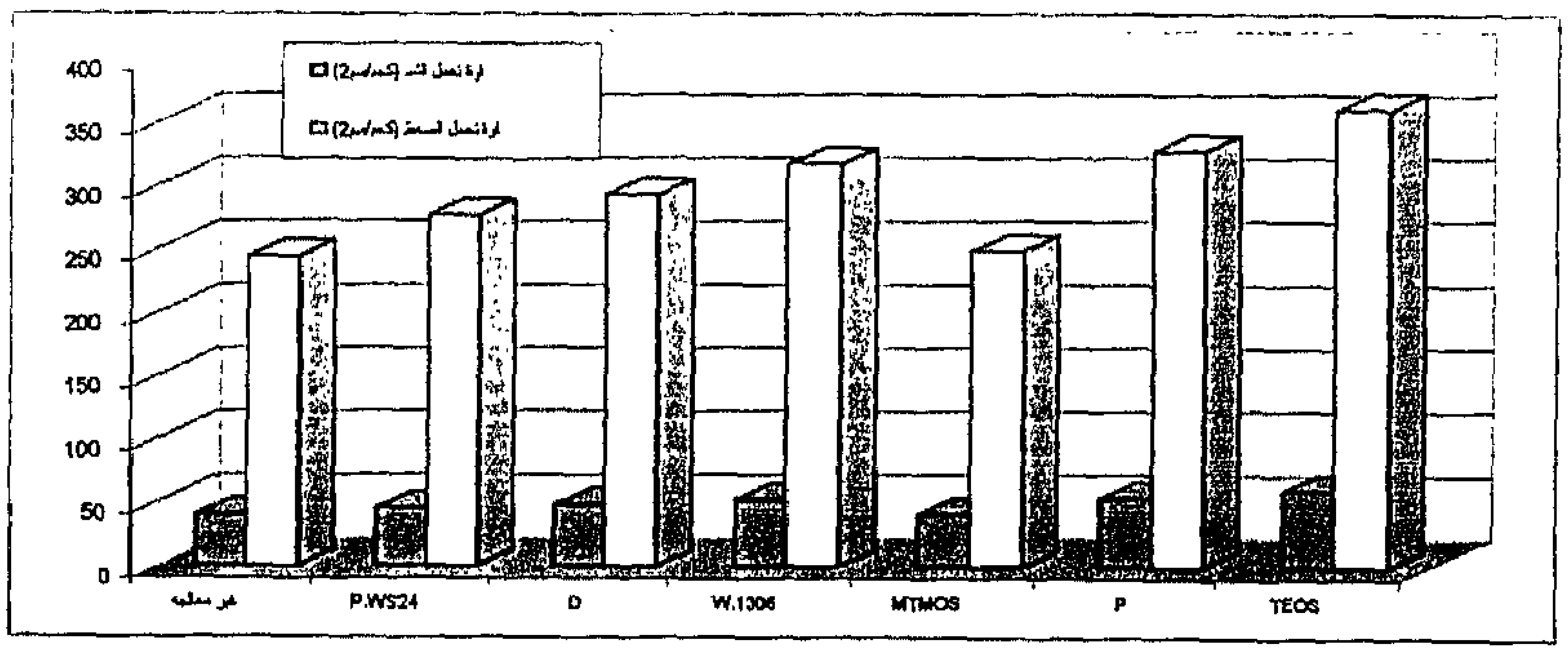

شكل رقم (٦٥) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٨) قبل وبعد التقوية



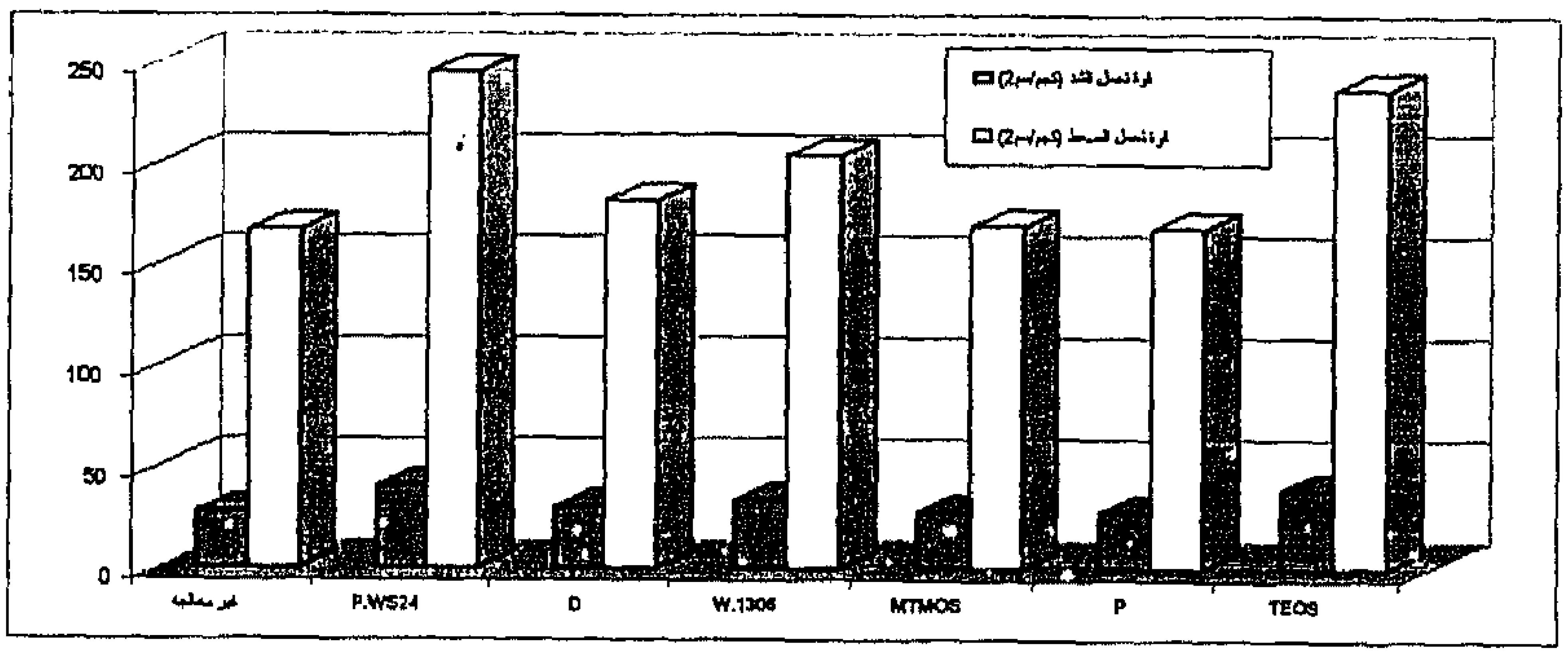

شكل رقم (٦٦) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٧) قبل وبعد التقوية



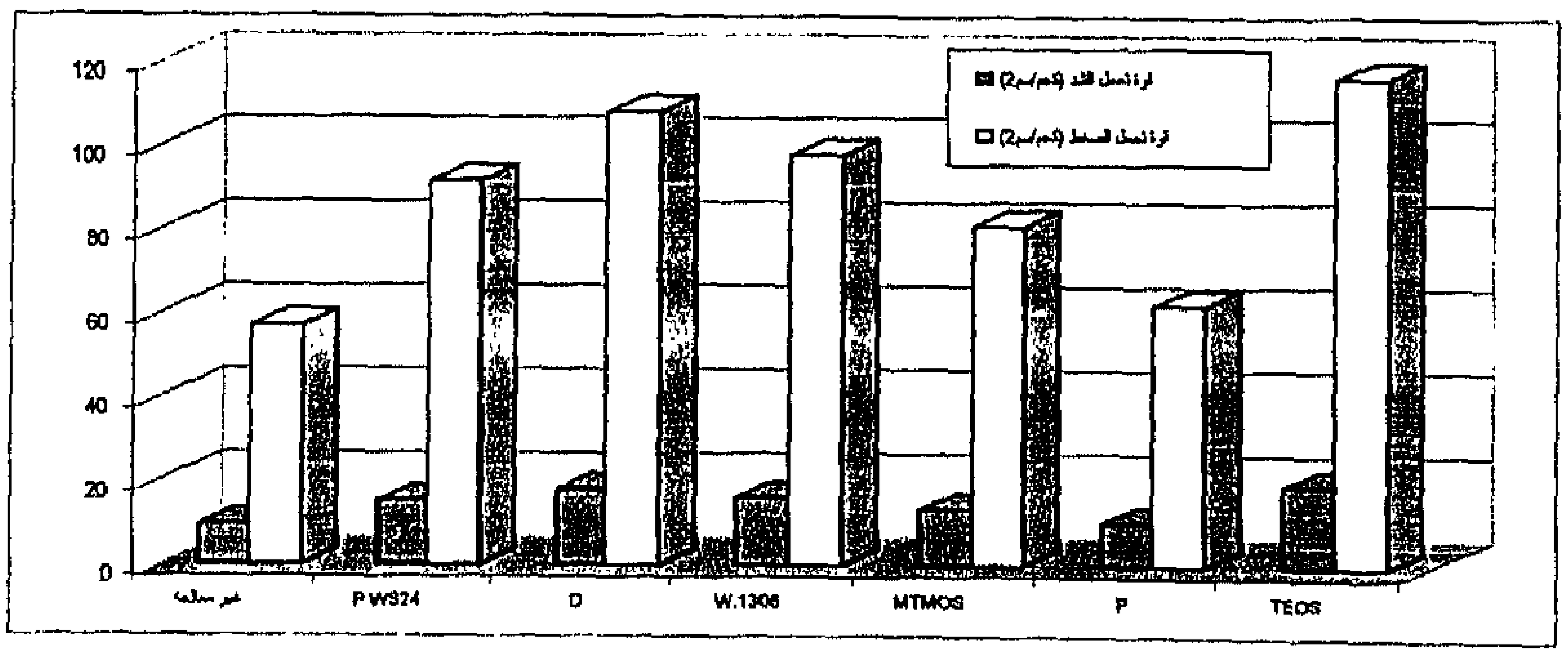

**شكل رقم (٦٧) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٢) قبل وبعد التقوية**




**شكل رقم (٦٨) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٨) قبل وبعد التقوية**




**شكل رقم (٦٩) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٧) قبل وبعد التقوية**




**شكل رقم (٧٠) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٢) قبل وبعد التقوية**

## الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح للعينات المعالجة

## Scanning Electron Microscope [SEM] Examination

تبين بعد الفحص بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى الماسح (SEM) للعينات المعالجة أن مادة Ethyl Silicate قد أعطت نتيجة جيدة من حيث انتشارها المتجانس والجيد بين حبيبات المونات وتوغلها فى الفراغات والمسام ونجاحها فى الربط الجيد بين حبيبات، كما يتضح من الصورة رقم (١١٩) ، وكذلك مادة Poly Methyl Hydro Siloxane حيث أعطت كفاءة فى تقوية وعزل المونات المعالجة بها كما يتضح من الصورة رقم (١٢٠) وكذلك مادة Methyl Tri Methoxy Silane كما يتضح من الصورة رقم (١٢١) بينما لم تعطى العينات المعالجة بمادة Primal WS24 ومادة Dispersion K6 Glanz نتيجة جيدة فى تقوية وعزل عينات المونات حيث لم تتوغل بين مسامها ولم تنتشر بشكل متجانس بين حبيباتها وذلك كما يتضح من الصور أرقام (١٢٢)،(١٢٣) .

## تعريض العينات المعالجة لعوامل التلف الصناعى

## Exposure of Treated Samples to Artificial Deterioration Factors

تم تعريض العينات المعالجة لعوامل التلف الصناعى وذلك لتقييم مواد التقوية والعزل التى تم استخدامها فى معالجة العينات سواء الحجر الجيرى أو المونات وذلك لتقدير مدى ثباتها ضد عوامل التلف التى يمكن أن توجد فى البيئة المحيطة بالمئذنة وذلك كالتالى :

### (١) تعريض العينات لرذاذ الماء الحمضى

تم رش العينات من جميع الأوجه بحمض الكبريتيك المخفف بنسبة ٥% ثم وضعت فى فرن تجفيف درجة حرارته ٤٥م° لمدة ٨ ساعات وقد تم تكرار هذه العملية ثلاثة دورات متتابعة .

### (٢) تعريض العينات لتأثير المحاليل الملحية

تم غمر العينات فى محلول من ملح كلوريد الصوديوم بنسبة تركيز ٢٥% لمدة ٤ ساعات ثم تم تجفيف العينات فى فرن درجة حرارته ٤٥م° لمدة ٨ ساعات ثم تركت العينات فى درجة حرارة الغرفة لمدة ١٢ ساعة وقد تم تكرار هذه العملية عشرة دورات متتابعة .

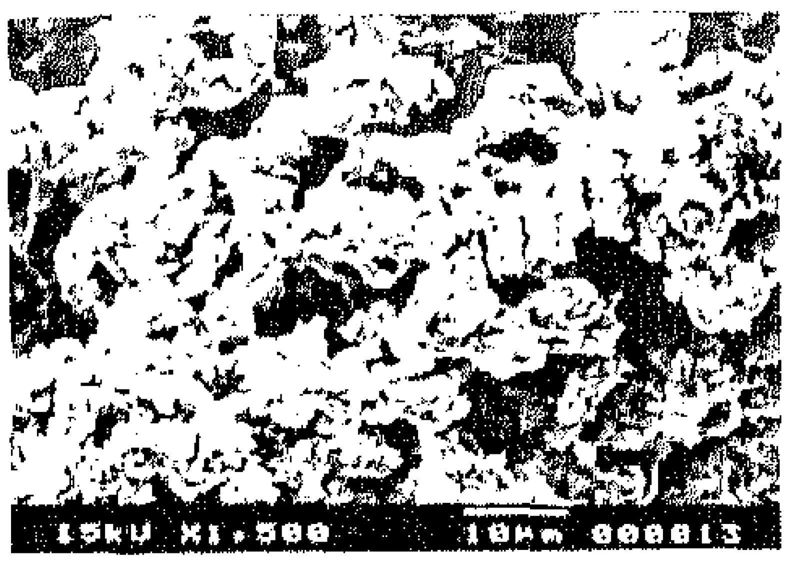
### (٣) تعريض العينات لدورات التسخين الرطب والجاف

تم تجفيف العينات داخل فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥م° لمدة ٢٤ساعة ثم غمرت فى الماء بعد ذلك تم وضعها فى فرن التجفيف عند ٦٥م° لمدة ٨ ساعات ثم تم تعريضها جافة للتسخين فى نفس درجة الحرارة ونفس المدة وهى جافة وأخيراً تم تبريدها عند درجة حرارة الغرفة لمدة ١٦ ساعة وقد تم تكرار هذه العملية أربعين دورة متتابعة .

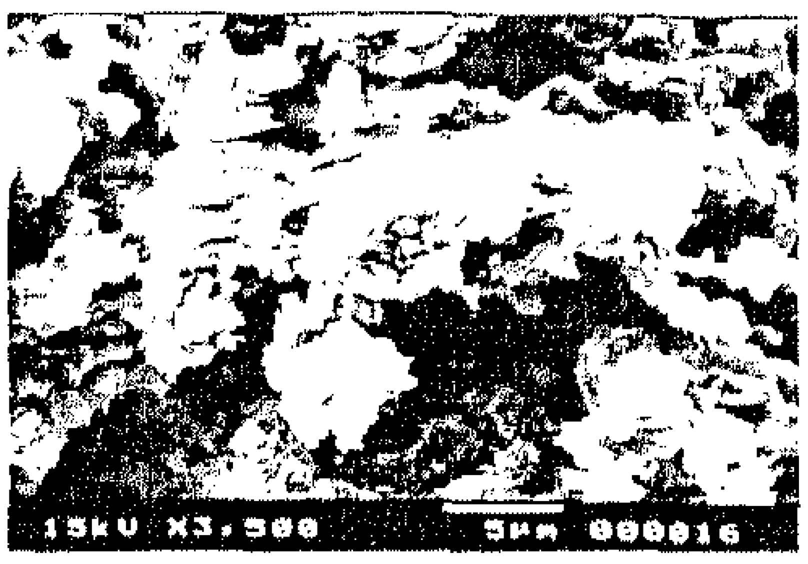
### (٤) تعريض العينات للتقادم الحرارى

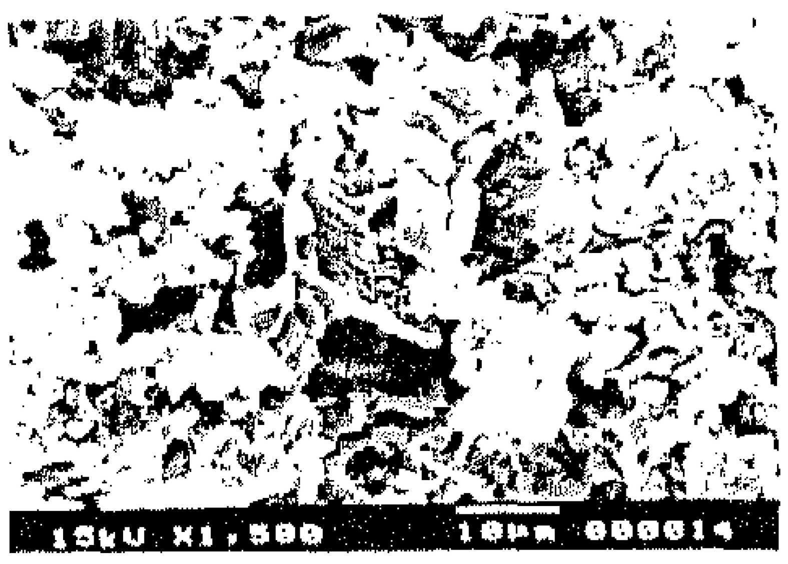
تم وضع العينات فى فرن درجة حرارته ١٠٥م° لمدة ٤٥ يوم .

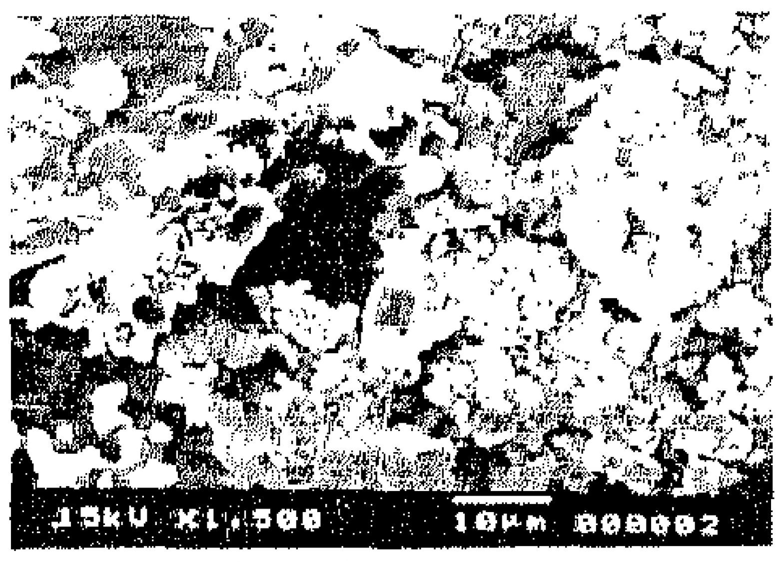
صورة رقم (١٠٨)
Ploy Methyl Hydro Siloxane

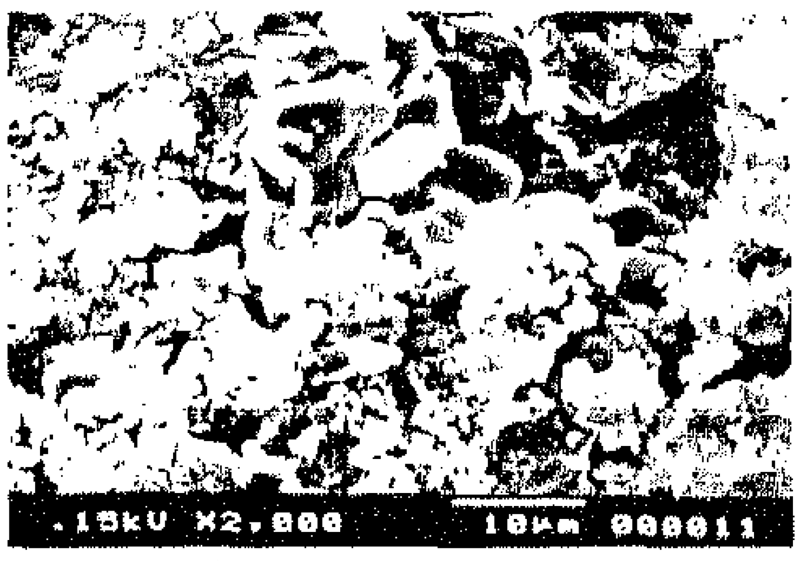

صورة رقم (١٠٩)
Silo 111

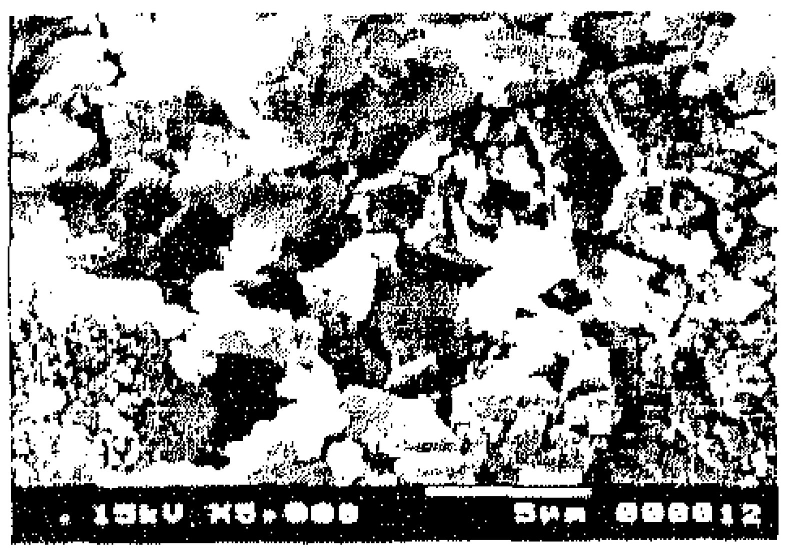
صورة رقم (١١٠)
Methyl Tri Methoxy Silane


صورة رقم (١١١)
Primal WS 24

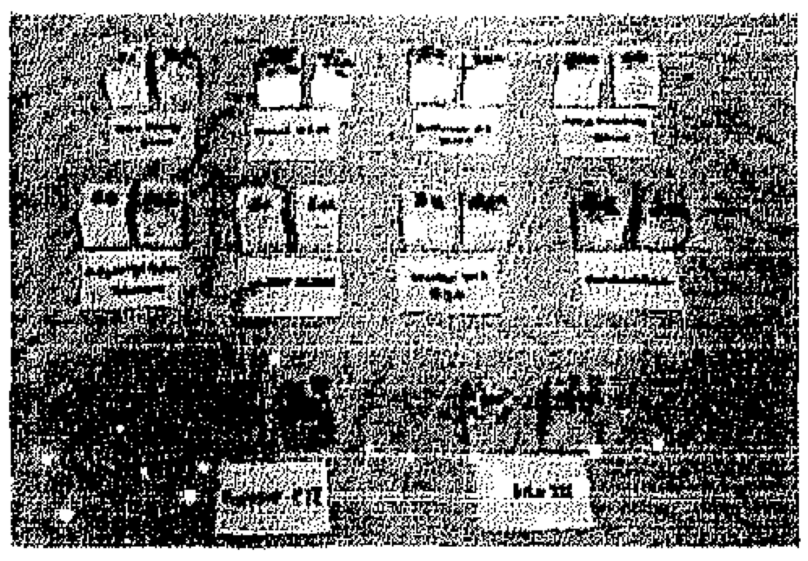

صورة رقم (١١٢)
Dispersion K6 Glanz

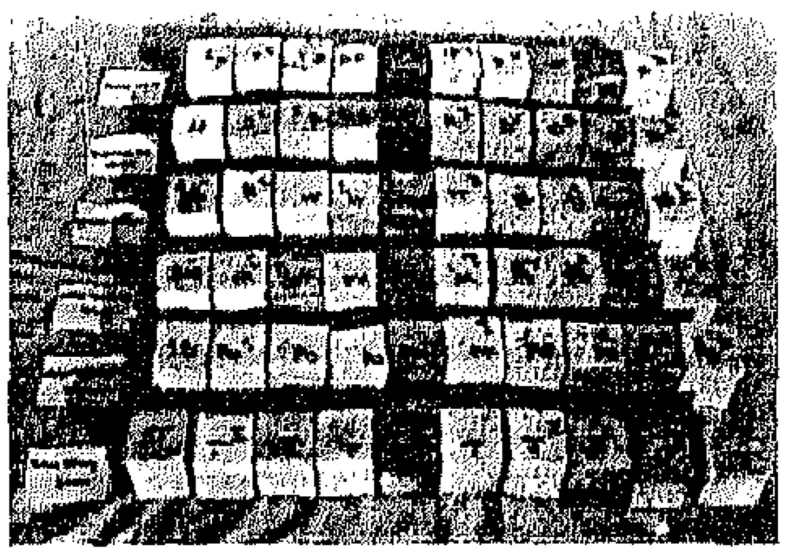

صورة رقم (١١٣)
Ethyl Silicate


صورة رقم (١١٤)
Wacker SMK 550


صورة رقم (١١٥)
Wacker BS 1306

صورة رقم (١١٦)
Gypstop- P17


صورة رقم (١١٧)


صورة رقم (١١٨)

صورة رقم (١١٩)
Ethyl Silicate

صورة رقم (١٢٠)
Poly Methyl Hydrosiloxane

صورة رقم (١٢١)
Methyl Tri Methoxy Silane

صورة رقم (١٢٢)
Primal WS 24

الصور من رقم (١٠٨) إلى رقم (١١٦) توضح فحص بواسطة [SEM] لعينات الحجر الجيرى بعد المعالجة بالمواد المقوية المختلفة كما هو موضح أسفل كل صورة .

الصور من رقم (١١٧) إلى رقم (١١٨) توضح عينات الحجر الجيرى والمونات بعد التقوية ويظهر التأثير الطارد للماء على بعض العينات .

الصور من رقم (١١٩) إلى رقم (١٢٣) توضح فحص بواسطة [SEM] العينات المونات بعد المعالجة بالمواد المقوية المختلفة كما هو موضح أسفل كل صورة .

( تصوير الباحث )

## تعيين الكثافة وامتصاص الماء والمسامية لعينات الحجر الجيرى بعد التقادم الصناعى

### (أ) الكثافة جم/سم٣ Density

تغيرت قيم الكثافة بعد التقادم حيث أعطت المواد المقوية قيماً مختلفة لزيادة الكثافة وقد حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أعلى قيمة للكثافة وبلغت ٢,٤٣جم /سم٣ بنسبة زيادة قدرها ١٣,٦% تليها مادة Silo111 وسجلت قيمة مقدارها ٢,٤جم /سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ١٢,١% ثم مادة Ethyl Silicate وحققت قيمة قدرها ٢,٣٦ جم /سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ١٠,٣ % ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت قيمة مقدارها ٢,٢٩جم / سم٣ بنسبة تغير وزيادة فى الكثافة مقدارها ٧% بينما انخفضت قيمة الكثافة لمادة Primal WS24 حيث أعطت ٢,١٢ جم/سم٣ بنسبة انخفاض مقدارها ٠,٩% والنتائج موضحة بالجدول رقم (٤٧) وشكل رقم (٧١) .

### (ب) امتصاص الماء (٪) Water Absorption

تغيرت قيم امتصاص الماء بعد التقادم وتفاوتت النتائج ونجد من خلال النتائج أن أفضل المواد التى حافظت على نسبة انخفاض امتصاص الماء حيث أعطت قيمة لامتصاص الماء مقدارها ٠,١٨% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٨% ثم مادة Silo111 وحققت ٠,٢٩% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٦,٨% تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane حيث أعطت قيمة مقدارها ٠,٣٤% بنسبة تغير مقدارها ٩٦,٣% بينما حدث تغير طفيف فى امتصاص الماء للعينة المعالجة بمادة Primal WS24 حيث سجلت قيمة مقدارها ٨,١٣% بنسبة انخفاض مقدارها ١١,٤% والنتائج مدونة بالجدول رقم (٤٧) وموضحة بالشكل رقم (٧١) .

### (جـ) المسامية ٪ Porosity

تغيرت قيم المسامية بنسب متفاوتة بعد التقادم حيث حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج وهى ١,٧٨% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠,٩% تليها مادة Silo111 وحققت ١,٨٦% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠,٥% تليها بفارق طفيف مادة Wacker SMK550 وحققت ١,٩٤% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت قيمة مقدارها ٣,١١% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٤ % والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٧) وموضحه من خلال شكل رقم (٧١) .

**جدول رقم (٤٧) يوضح قيم الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى**

**بمئذنة يشبك من مهدى بعد إجراء التقادم الصناعى عليها**

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidat | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | غير معالجة | ٢,١٤ | – | ٩,١٨ | – | ١٩,٤٨ | – |
| $SA_1$ | Ethyl Silicate | ٢,٣٦ | ١٠,٣ | ٧,٨٥ | ١٤,٥ | ١١,٢٣ | ٤٢,٤ |
| $SA_2$ | Primal WS24 | ٢,١٢ | -٠,٩ | ٨,١٣ | ١١,٤ | ١٢,٩٣ | ٣٣,٦ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $SA_3$ | Disperscon K6 Glanz | ٢,١١ | ١,٤- | ٩,١٢ | ٠,٧ | ١١,٥٢ | ٤٠,٩ |
| $SA_4$ | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٢٩ | ٧ | ٠,٣٤ | ٩٦,٣ | ٣,١١ | ٨٤ |
| $SA_5$ | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٤٣ | ١٣,٦ | ٠,١٨ | ٩٨ | ١,٧٨ | ٩٠,٩ |
| $SA_6$ | Wacker BS 1306 | ٢,٢٨ | ٦,٥ | ٣,٢٦ | ٦٤,٥ | ٤,١٤ | ٧٨,٧ |
| $SA_7$ | Wacker SMK 550 | ٢,٣١ | ٧,٩ | ١,٣٦ | ٨٥,٢ | ١,٩٤ | ٩٠ |
| $SA_8$ | Paraloid B44 | ٢,٢١ | ٣.٣ | ٧,١٢ | ٢٢,٤ | ١٢,٣٧ | ٣٦,٥ |
| $SA_9$ | Gypstop – P17 | ٢,١٨ | ١,٩ | ٩,٠٣ | ١,٦ | ١٧,١٥ | ١٢ |
| $SA_{10}$ | Silo111 | ٢,٤ | ١٢,١ | ٠,٢٩ | ٩٦,٨ | ١,٨٦ | ٩٠,٥ |

الإشارة السالبة تدل على انخفاض فى قيمة الكثافة.

## تعيين الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى بعد التقادم بطريقة الموجات فوق الصوتية

### أ- تعيين زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال عينات الحجر الجيرى بعد التقادم

من خلال النتائج اتضح أن مادة Ethyl Silicate سجلت أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغ ٨,١ ميكرو ثانية كما سجلت أعلى سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٣٦٨٩,٣ م/ث تليها مادة Silo 111 وسجلت زمنا مقداره ٨,٧ ميكرو ثانية وسرعة مقدارها ٣٤٥٨,٣ م / ث ثم مادة Poly Methy lHydrosiloxane وسجلت زمنا مقداره ٨.٨ ميكرو ثانية وسرعة مقدارها ٣٤١٩,٩م/ث ونجد أن اكبر زمن لمرور الموجات فوق الصوتية سجلته مادة Dispersion K6 Glanz وبلغ ١١,٠٤ ميكرو ثانية وبالتالي حققت هذه المادة أقل سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٢٧١٧,٨ م/ث والنتائج موضحة من خلال الجدول رقم (٤٨) .

### ب- تعيين الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى بعد التقادم

من خلال النتائج السابقة لزمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات المعالجة والعينات قبل المعالجة والتقوية تم حساب قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد للعينات المعالجة وقد جاءت النتائج كالتالي :

### ١- قوة تحمل الضغط كجم / سم٢ Compressive Strength

حققت مادة Ethyl Silicate ( Tetra Ethoxy Silane ) أفضل النتائج وبلغت ٣٧٥,٢ كجم / سم٢ بزيادة مقدارها ٣٩ % تليها مادة Silo 111 وسجلت قيمة مقدارها ٣٥١,٧ كجم / سم٢ بزيادة مقدارها ٣٠,٣ % ثم مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وحققت قيمة مقدارها ٣٤٧,٨ كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٢٨,٨% ثم إحدى مواد الاكريلك وهى مادة Paraloid B44 وسجلت قيمة مقدارها ٣٣٤,٥كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٢٣,٩% بينما حققت مادة Dispersion K6 Glanz قيمة طفيفة لزيادة قوة تحمل الضغط وهى أقل قيمة للزيادة وبلغت ٢٧٦,٤ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٢,٤% والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٨) وموضحه بالشكل رقم (٧٢) .

### ٢- قوة تحمل الشد كجم/سم٢ Tensile Strength

لم تختلف قوة تحمل الشد كثيراً من حيث التغير فى القيم وكفاءة المواد المستخدمة عن قوة تحمل الضغط فنجد أن مادة Ethyl Silicate قد أعطت أفضل النتائج لقوة تحمل الشد وبلغت ٣٢,٤ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٣٥% تليها مادة Silo111 بقيمة مقدارها ٢٩,٨ كجم/سم٢ وزيادة مقدارها ٢٤,٢% ثم مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بقيمة مقدارها ٣٠,٥% وزيادة بلغت نسبتها ٢٧,١% بينما أعطت مادة Dispersion K6 Glanz أقل النتائج حيث بلغت قيمة تحمل الشد ٢٤,٤كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ١,٧% فقط والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٨) وموضحة بالشكل رقم (٧٢) .

**جدول رقم (٤٨) يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Waves والخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء التقادم الصناعى عليها**

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | غير معالجة | ١١,٣ | ٢٦٥٤,٩ | ٢٧٠ | – | ٢٤ | – |
| $S_1$ | Ethyl Silicate | ٨,١ | ٣٦٨٩,٣ | ٣٧٥,٢ | ٣٩ | ٣٢,٤ | ٣٥ |
| $S_2$ | Primal WS24 | ١٠,٥ | ٢٨٤٦,٦ | ٢٨٩,٥ | ٧,٢ | ٢٧,٧ | ١٥,٤ |
| $S_3$ | Dispersion K6 Glanz | ١١,٠٤ | ٢٧١٧,٨ | ٢٧٦,٤ | ٢.٤ | ٢٤,٤ | ١,٧ |
| $S_4$ | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٠,٦ | ٢٨٦٦,٣ | ٢٩١,٥ | ٨ | ٢٤,٨ | ٣,٣ |
| $S_5$ | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٨,٨ | ٣٤١٩,٩ | ٣٤٧,٨ | ٢٨,٨ | ٣٠,٥ | ٢٧,١ |
| $S_6$ | Wacker BS 1306 | ١٠,٧ | ٢٨٠٥,٣ | ٢٨٥,٣ | ٥,٧ | ٢٥,٨ | ٧,٥ |
| $S_7$ | Wacker SMK 550 | ١٠,٤ | ٢٨٩٦,٨ | ٢٩٤,٦ | ٩,١ | ٢٥,٩ | ٧,٩ |

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $S_8$ | Paraliod B44 | ٩,١ | ٣٢٨٩,١ | ٣٣٤,٥ | ٢٣,٩ | ٢٦,٣ | ٩,٦ |
| $S_9$ | Gypstop – P17 | ١٠ | ٣٠١٣,٨ | ٣٠٦,٥ | ١٣,٥ | ٢٧,٦ | ١٥ |
| $S_{10}$ | Silolll | ٨,٧٠ | ٣٤٥٨,٣ | ٣٥١,٧ | ٣٠,٣ | ٢٩,٨ | ٢٤,٢ |

## الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح لعينات الحجر الجيرى المعالجة بعد التقادم

## Scanning Electron Microscope [SEM] Examination After Artifical Weathering

تم الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح [SEM] لبعض العينات المعالجة بمواد التقوية بعد التقادم للتعرف على مدى محافظتها على انتشارها وتغلغلها بين حبيبات ومكونات الأحجار وتقييم مدى كفاءتها فى عمليات التقوية ومدى ثباتها وعدم تأثرها بعوامل التقادم الصناعى وقد تبين ما يلى :

١- لم تتأثر مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بالتقادم الصناعى وأعطت نتيجة جيدة فى تقوية وعزل عينات الحجر الجيرى حيث توغلت وانتشرت المادة بين حبيبات الحجر الجيرى وأدت إلى الربط بينها ولم تتأثر بالتقادم الصناعى الذى أجرى عليها كما يتضح من الصورة رقم (١٢٤) .

٢- تبين أن مادة Silo111 لم تتأثر أيضاً بعمليات التقادم الصناعى وحافظت على الربط بين حبيبات الحجر الجيرى للعينات المعالجة بها وانتشرت بشكل متجانس ومكثف بين الحبيبات ويتضح ذلك من خلال الصورة رقم (١٢٥) .

٣- نجحت مادة Methyl Tri Methoxy Silane فى المحافظة على وظيفة العزل ويتضح ذلك من تغليفها الجيد للحبيبات والربط بينها وتوغلها إلى كل الفراغات والفجوات الموجودة فى نسيج الحجر الجيرى كما يتضح من الصورة رقم(١٢٦) ولم تتأثر بعمليات التقادم الصناعى .

٤- تبين أن مادة Primal WS24 من المواد التى لم تنجح فى تحمل عمليات التقادم الصناعى وتأثرت المادة المتبلمرة منها بين حبيبات الحجر الجيرى، كما يتضح من الصورة رقم (١٢٧) وكذلك مادة Dispersion K6 Glanz كما يتضح من الصورة رقم (١٢٨) .

٥- نجحت مادة Ethyl Silicate فى ملء الفراغات والمسام الموجودة بين حبيبات الحجر الجيرى وتبلورها بشكل منتظم ومتجانس إلى حد كبير ولم تتأثر بعوامل التقادم الصناعى وظلت طبقة البوليمر ثابتة ومتجانسة كما يتضح من الصورة رقم (١٢٩) .

٦- تبين من خلال الفحص عدم تأثر مادة Wacker SMK550 بعمليات التقادم الصناعى حيث نجحت فى تغليف وتغطية حبيبات عينات الحجر الجيرى المعالجة بها وبالتالى تحقيقها لوظيفة العزل للحجر الجيرى كما يتضح من الصورة رقم (١٣٠) ، كذلك مادة Wacker BS1306 التى تعطى أيضاً نتيجة مرضيه فى تغطية حبيبات الحجر الجيرى وعزلها ولم تتأثر بعوامل التقادم الصناعى كما يتضح من الصورة رقم (١٣١) .

٧- تبين أن مادة Gypstop-P17 لم تنجح فى مقاومة عمليات تقادم الصناعى وتأثرت المادة المتبلمرة منها وبالتالى لم تحافظ على صفاتها وخصائصها فى مواجهة عمليات التقادم التى أجريت عليها كما يتضح من الصورة رقم (١٣٢) .

ومن خلال الفحص السابق يتبين أن مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قد أعطت أفضل النتائج من حيث مقاومة عمليات التقادم الصناعى وبالتالى استمرارها فى تأدية وظيفة عزل عينات الحجر الجيرى الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى بكفائة وقد اتضح ذلك من خلال الصورة رقم (١٢٤) ، كما لم تتأثر مادة Ethyl Silicate بعمليات التقادم الصناعى وحافظت على كفائتها فى تقوية عينات الحجر الجيرى لمئذنة يشبك من مهدى أما مادة Silo111 فقد أعطت نتائج جيدة فى تحقيق وظيفتى التقوية والعزل لعينات الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى ولم تتأثر بعمليات التقادم الصناعى على العكس من مواد الأكريلك والتى تأثرت بعمليات التقادم الصناعى والتى تمثلت فى مادة Primal WS24 وكذلك مادة Dispersion K6 Glanz كما يتضح من الصور أرقام (١٢٧)،(١٢٨) .

## تعيين الكثافة وامتصاص الماء والمسامية لعينات المونات بعد التقادم

### (أ) الكثافة جم/سم٣ Denisty

تفاوتت قيم الكثافة بعد إجراء عمليات التقادم حيث أعطت المواد المقوية تغيرات مختلفة فى قيم الكثافة الكلية وقد حققت المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) افضل نتائج وقد تفاوتت القيم فبالنسبة للمونة رقم (٨) فقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane قيمة للكثافة الكلية بلغت ٢,٤١جم /سم٣ بنسبة تغير قدرها ٩,٥% ومادة Ethyl Silicate وحققت قيمة قدرها ٢,٤٥جم /سم٣ بنسبة زيادة مقدارها ١١,٤% ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت قيمة مقدارها ٢,٣٥ حجم / سم٣ بنسبة تغير مقدارها ٦,٨% والنتائج موضحة بالجدول رقم (٤٩) .

### (ب) امتصاص الماء (٪) Water Abosrption

أنخفضت قيم امتصاص الماء بعد التقادم بنسب طفيفة وقد أعطت المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) نتائج جيدة وتفاوتت النتائج باختلاف المواد المقوية المستخدمة وبالنسبة للمونة رقم (٨) فقد أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وقد تم استخدامها ذائبة فى الكحول الإيثيلى Ethyl Alochol بنسبة تركيز ٥% افضل النتائج من حيث المحافظة على نسبة الانخفاض فى امتصاص الماء حيث أعطت قيمة لامتصاص الماء مقدارها ٠,٢٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٦,٦% ، ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت ٠,٣٧% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٤,٣ ، ثم مادة Wacker BS1306 وقد أعطت نسبة امتصاص للماء مقدارها ٠,٨٥% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٦,٩% وهى تستخدم مخففة على هيئة مستحلب والنتائج مدونة بالجدول رقم (٤٩) .

### (جـ) المسامية ٪ Porosity

انخفضت قيم المسامية بنسب متفاوتة بعد التقادم حيث حققت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج وهى ١,٣٢% بنسبة انخفاض مقدارها ٩٠,٧% تليها مادة Methyl Tri Methoxy Silane وحققت ١,٦% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٨,٧% تليها بفارق طفيف عن مادة Wacker BS1306 وحققت ١,٩٤% بنسبة انخفاض مقدارها ٨٦,٣% والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٤٩) .

جدول رقم (٤٩) يوضح قيم الخواص الفيزيائية لعينات المونات بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1X | غير معالجة | ١,٩ | – | ١٦,٢ | – | ٢٩,٦ | – |
| 1P | Primal WS24 | ١,٩٣ | ١,٥ | ١٥,٢١ | ٦,١ | ٢٨,٩٦ | ٢,١ |
| 1D | Dispersion K6Glanz | ١,٩٠ | صفر | ١٤,٨٨ | ٨,١ | ٢٨,١٣ | ٤,٩ |
| 1W | Wacker BS1306 | ١,٩٠ | صفر | ٢,٩٤ | ٨١,٨ | ٥,٤٦ | ٨١,٥ |
| 1M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٩٣ | ١,٥ | ٢,٤٨ | ٨٤,٦ | ٤,٨ | ٨٣,٧ |
| 1PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٢ | ١,٥ | ٢,٢٢ | ٨٦,٢ | ٤,٠٤ | ٨٦.٣ |
| 1T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩٧ | ٣,٦ | ١٤,٥ | ١٠,٤ | ٢٨,١١ | ٥,٠٣ |
| | | | | | | | |
| 2X | غير معالجة | ٢ | – | ١٠,٤ | – | ٢٠,٤ | – |
| 2P | Primal WS24 | ٢,١٢ | ٦ | ٨,٦ | ١٧,٣ | ١٧,٦١ | ١٣,٦ |
| 2D | Dispersion K6Glanz | ٢,١٦ | ٨ | ٩,٣ | ١٠,٥ | ١٥,٧٢ | ٢٢,٩ |
| 2W | Wacker BS1306 | ٢,١٧ | ٨,٥ | ١,٨٨ | ٨١,٩ | ٣,١٨ | ٨٤,٤ |
| 2M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,١٦ | ٨ | ١,٣١ | ٨٧,٤ | ٢,٩٢ | ٨٥,٦ |
| 2PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٣٩ | ١٩,٥ | ٠,٧٢ | ٩٣ | ٢,٤٣ | ٨٨,٨ |
| 2T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤٧ | ٢٣,٥ | ٧,٢ | ٣٠,٧ | ١٤,٩٨ | ٢٦,٥ |
| | | | | | | | |
| 3X | غير معالجة | ١,٦ | – | ٢٢,٥ | – | ٣٦,١ | – |
| 3P | Primal WS24 | ١,٩٧ | ٢٣,١ | ٢٢,٣١ | ٠,٨ | ٣٥,٨ | ٠,٨٣ |
| 3D | Dispersion K6Glanz | ١,٧٦ | ١٠ | ١٤,٢٧ | ٣٦,٥ | ٣٠,٤٢ | ١٥,٧ |
| 3W | Wacker BS1306 | ١,٨٩ | ١٨,١ | ٣,٣٢ | ٨٥,٢ | ٠,٧٢ | ٨٤,١ |

| رقم العينة | المادة المقوية **Consolidane** | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٩٢ | ٢٠ | ٢,٩٧ | ٨٦,٨ | ٥,٨٣ | ٨٣,٨ |
| 3PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٦ | ٢٢,٥ | ٢,٩٢ | ٨٧ | ٤,٨٥ | ٨٦,٦ |
| 3T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٢٢ | ٣٨,٧ | ١٩,٣٥ | ١٤ | ٢٨,٤١ | ٢١,٣ |
| | | | | | | | |
| 4X | **غير معالجة** | ١,٦ | – | ٢٣,٦ | – | ٣٦,٥ | – |
| 4P | Primal WS24 | ١,٦٦ | ٣,٧ | ٢٢,٩٢ | ٢,٨ | ٣٣,٤ | ٨,٤ |
| 4D | Dispersion K6Glanz | ١,٦٣ | ١,٨ | ٢٢,٣٤ | ٥,٣ | ٣٢,٦ | ١٠,٦ |
| 4W | Wacker BS1306 | ١,٧٤ | ٨,٧ | ٣,٧٣ | ٨٤,١ | ٣٦,١ | ١,٩ |
| 4M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٨ | ١٢,٥ | ٢,٩٤ | ٨٧,٥ | ٥,٣ | ٨٥,٤ |
| 4PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٨٦ | ١٦,٢ | ٢,٨٥ | ٨٧,٩ | ٤,٩ | ٨٦,٦ |
| 4T | Tetra Ethoxy Silane | ١,٩٤ | ٢١,٣ | ١٥,٣٦ | ٣٤,٩ | ٢٣,٤ | ٣٥,٩ |
| | | | | | | | |
| 5X | **غير معالجة** | ١,٧ | – | ١٩,١ | – | ٣٢ | – |
| 5P | Primal WS24 | ١,٧٢ | ١,٨ | ١٥,٢ | ٢٠,٤ | ٢٩,٥ | ٧,٨ |
| 5D | Dispersion K6Glanz | ١,٧٦ | ٣,٥ | ١٤,١ | ٢٦,١ | ٢٧,٤ | ١٤,٤ |
| 5W | Wacker BS1306 | ١,٧٩ | ٥,٣ | ٣,٣٤ | ٨٢,٥ | ٦,٩٥ | ٧٨,٣ |
| 5M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٨٣ | ٧,٦ | ٣,١٩ | ٨٣,٢ | ٦,٥ | ٧٩,٧ |
| 5PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٨ | ١٦,٥ | ٢,٨٥ | ٨٥,١ | ٤,٨٢ | ٨٤,٩ |
| 5T | Tetra Ethoxy Silane | ٢.٢ | ٢٩,٤ | ١٣,٢ | ٣٠,٩ | ٢٣,٤ | ٢٦,٨ |
| | | | | | | | |
| 6X | **غير معالجة** | ١,٨ | – | ١٨,٩ | – | ٣٢,٧ | – |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6P | Primal WS24 | ١,٩ | ٥.٥ | ١٤,٦ | ٢٢,٨ | ٢٦,٥ | ١٩,٨ |
| 6D | Dispersion K6Glanz | ١,٩٤ | ٧.٧ | ١٦,٦ | ١٠,٨ | ٢٤,٤ | ٢٥,٤ |
| 6W | Wacker BS1306 | ٢ | ١١,١ | ٢,٩٨ | ٨٤,٣ | ٤,٧ | ٨٥,٦ |
| 6M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٩٨ | ١٠ | ٢,٧٣ | ٨٧,٥ | ٤,١ | ٨٧,٥ |
| 6PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,١٩ | ٢١,٧ | ١,٩٣ | ٨٩,٨ | ٣.٣ | ٨٩,٩ |
| 6T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٥ | ٣٨,٨ | ١٣,٢ | ٣٠,٢ | ١٨,٩٥ | |
| | | | | | | | |
| 7X | غير معالجة | ٢.٢ | – | ٨,١ | – | ١٧,٤ | – |
| 7P | Primal WS24 | ٢,٧ | ٢٢,٧ | ٦,٣ | ٢٢,٢ | ١٤,٨ | ١٤,٩ |
| 7D | Dispersion K6Glanz | ٢,٧٦ | ٢٥,٥ | ٦,٤ | ٢٠,٩ | ١٣,٢ | ٢٤,١ |
| 7W | Wacker BS1306 | ٢,٤٢ | ١٠ | ١.٢٣ | ٨٤,٨ | ٢,٤٥ | ٨٥,٩ |
| 7M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٣٣ | ٥,٩ | ٠,٩٨ | ٨٧,٩ | ٢,٢٣ | ٨٧,٢ |
| 7PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٤ | ٩,١ | ٠,٥٢ | ٩٣,٥ | ١,٩٢ | ٨٨,٩ |
| 7T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٦ | ١٨,٢ | ٤,٦ | ٤٣,٢ | ٨,٩ | ٤٨,٨ |
| | | | | | | | |
| 8X | غير معالجة | ٢.٢ | – | ٦,٥ | – | ١٤,٢ | – |
| 8P | Primal WS24 | ٢,٢٣ | ١,٤ | ٤,١٩ | ٣٥,٥ | ٩,٥ | ٣٣ |
| 8D | Dispersion K6Glanz | ٢,٢٤ | ١,٨ | ٤,٢ | ٣٥,٣ | ٩,١ | ٣٥,٩ |
| 8W | Wacker BS1306 | ٢,٢٧ | ٣,٢ | ٠,٨٥ | ٨٦,٩ | ١,٩٤ | ٨٦,٣ |
| 8M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢,٣٥ | ٦,٨ | ٠,٣٧ | ٩٤,٣ | ١,٦ | ٨٨,٧ |
| 8PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,٤١ | ٩,٥ | ٠,٢٢ | ٩٦,٦ | ١,٣٢ | ٩٠,٧ |

| رقم العينة | المادة المقوية Consolidant | الكثافة الكلية جم/سم٣ | معدل التغير فى الكثافة % | امتصاص الماء % | معدل التغير فى امتصاص الماء % | المسامية % | معدل التغير فى المسامية % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٤٥ | ١١,٤ | ٣,١٨ | ٥١ | ٥,٩٤ | ٨٥,١ |
| | | | | | | | |
| 9X | غير معالجة | ١,٣ | – | ٣٥,٧ | – | ٤٤,٧ | – |
| 9P | Primal WS24 | ١,٤٥ | ١١,٥ | ٣٠,٢ | ١,٥ | ٤١,٦ | ٦,٩ |
| 9D | Dispersion K6Glanz | ١,٤٦ | ١٢,٣ | ٣٠,٧ | ١٤ | ٤٤,١ | ١,٣ |
| 9W | Wacker BS1306 | ١,٧ | ٣٠,٨ | ٥,١٥ | ٨٥,٦ | ١٣,٧ | ٦٩,٣ |
| 9M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٧٨ | ٣٦,٩ | ٥,٦ | ٨٦,٢ | ١٥,٩ | ٦٤,٤ |
| 9PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢,١ | ٦١,٥ | ٤,٩ | ٦٨,٢ | ١٢,٨ | ٧١,٣ |
| 9T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,٣٥ | ٨٠,٨ | ٢٧,٣ | ٢٣,٥ | ٣٨,٣ | ١٤,٣ |
| | | | | | | | |
| 10X | غير معالجة | ١,٣ | – | ٣١,٤ | – | ٤١,٩ | – |
| 10P | Primal WS24 | ١,٧٥ | ٣٤,٦ | ٢٢,٧ | ٢٧,٧ | ٣٢,٦ | ٢٢,١ |
| 10D | Dispersion K6Glanz | ١,٩٢ | ٤٧,٦ | ٢٥,٤ | ١٩,١ | ٣٤,٥ | ١٧,٦ |
| 10W | Wacker BS1306 | ١,٧٧ | ٣٦,١ | ١٣,٩ | ٥٥,٧ | ٢١,٢ | ٤٩,٤ |
| 10M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١,٨٢ | ٤٠ | ١٥,١ | ٥١,٩ | ٢١,٩ | ٤٧,٧ |
| 10PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١,٩٥ | ٥٠ | ١٣,١ | ٥٨,٢ | ١٩,٤ | ٥١,٥ |
| 10T | Tetra Ethoxy Silane | ٢,١٤ | ٦٤,٦ | ٢٠,٥ | ٣٤,٧ | ٣٠,٩ | ٢٦,٢ |

ومن النتائج السابقة نجد حدوث تغيرات فى قيم الخواص الفيزيائية لعينات المونات بعد التقادم وبمقارنة النتائج نجد أن المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) قد أعطت أفضل النتائج من حيث ثباتها وقوة تحملها بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها والنتائج ممثلة بالأشكال أرقام (٧٣)،(٧٤)،(٧٥) على الترتيب .

## تعيين الخواص الميكانيكية لعينات المونات المعالجة بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية بعد التقادم

تم تعيين قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد لعينات المونات المعالجة بواسطة قياس زمن الموجات فوق الصوتية خلال العينات بعد إجراء عمليات التقادم ومنها أمكن تقدير كل من قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٥٠) وقد جاءت النتائج كالتالى :

### (أ) قياس زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال العينات :

بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى أعطت عينات المونات نتائج متفاوته اختلفت باختلاف نوع المونة ونوع المادة المقوية المستخدمة وبالنسبة للمونة رقم (٢) على سبيل المثال فقد أعطت العينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Tetra Ethoxy Silane (Ethyl Silicate ) أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وهو ٣٠,٨ ميكروثانية وبالتالى أعطت أعلى سرعة لانتقال الموجات فوق الصوتية خلالها وهو ١٦٢١,٤م/ث تليها العينة المعالجة بمادة Dispersion K6 Glanz حيث أعطت زمن انتقال للموجات فوق الصوتية مقداره ٣٣,٤ميكروثانية وسرعة انتقال للموجات فوق الصوتية مقداره ١٤٩٥,٧م/ث ، أما المونة رقم (٨) فقد أعطت العينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Tetra Ethoxy Silane سجلت أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية وبلغ ١٣,٠٨ ميكروثانية وسرعة انتقال للموجات فوق الصوتية بلغ ٣٨٢١,٥ م/ث تليها العينة من المونة رقم(٨) والمعالجة بمادة Poly Methyl Hydro Siloxane وسجلت زمن مقداره ١٤,٤ ميكروثانية وسرعة مقدارها ٣٤٧٥,٤ م/ث ، وبالنسبة للمونة رقم (٧) فقد سجلت العينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Primal WS24 أقل زمن لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغ ١٢,٩ ميكروثانية وبالتالى أكبر سرعة لمرور الموجات فوق الصوتية خلالها وبلغت ٢٨٧٣,٩ م/ث والنتائج كاملة موضحه بالجدول رقم(٥٠).

### (ب) تعيين الخواص الميكانيكية لعينات المونات بعد التقادم

من خلال النتائج السابقة لزمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية خلال عينات المونات بعد التقادم الصناعى ، تم حساب قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد للعينات وقد جاءت النتائج كالتالى :

#### ١- قوة تحمل الضغط كجم / سم$^2$ Compressive Strength

حققت المونة رقم (٨) أفضل النتائج من حيث قوة تحمل الضغط حيث أعطت العينة الممثلة لها والمعالجة بمادة ( Tetra Ethoxy Silane ) Ethyl Silicate أفضل النتائج وبلغت ٣٦٠,٩ كجم / سم$^2$ بزيادة مقدارها ٤٧,٤% تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وحققت قيمة مقدارها ٣٢٧,٧كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٣٣,٩% بينما حققت مادة Primal Methyl Tri Methoxy Silane قيمة طفيفة لزيادة قوة تحمل الضغط وهى أقل قيمة للزيادة وبلغت ٢٧٥,٤ كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ١٢,٥% والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٥٠) .

**٣- قوة تحمل الشد كجم/سم٢ Tensile Strength**

لم تختلف قوة تحمل الشد كثيراً من حيث التغير في القيم وكفاءة المواد المستخدمة عن قوة تحمل الضغط بعد التقادم فنجد أن المونة رقم (٨) أعطت أفضل القيم حيث بلغت قيمة قوة تحمل الشد للعينة الممثلة لها والمعالجة بمادة Ethyl Silicate أفضل النتائج لقوة تحمل الشد وبلغت ٥٩,٤كجم/سم٢ بنسبة زيادة مقدارها ٤٥,٦% تليها مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بقيمة مقدارها ٥٣,٩ كجم/سم٢ وزيادة بلغت نسبتها ٣٢,١% بينما أعطت مادة Methyl Tri Methoxy Silane أقل النتائج حيث بلغت قيمة تحمل الشد ٤١,٢ كجم/سم٢ بزيادة مقدارها ٠,٩٨% فقط والنتائج كاملة مدونة بالجدول رقم (٥٠) .

**جدول رقم (٥٠) يوضح زمن وسرعة مرور الموجات فوق الصوتية والخواص الميكانيكية لعينات المونات بعد إجراء عمليات التقادم**

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1X | غير معالجة | ٦٥,١ | ٧٦٨,١ | ٨,٢ | – | ١,٣٧ | – |
| 1P | Primal WS24 | ٤٣,٨ | ١١٤٢,٨ | ١٢,٢ | ٤,٩ | ٢,١٣ | ٥٥,٥ |
| 1D | Dispersion K6Glanz | ٦٤,٣ | ٧٧٧,٥ | ٨,٣ | ١,٢ | ١,٤ | ٢,١٨ |
| 1W | Wacker BS1306 | ٥٨,٠٢ | ٨٦١,٨ | ٩,٢ | ١٢,١ | ١,٥٢ | ١٠,٩ |
| 1M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٥٥.٦ | ٨٩٩,٢ | ٩,٦ | ١٧ | ١,٦ | ١٦,٨ |
| 1PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥٨,٧ | ٨٥٢,٤ | ٩,١ | ١٠,٩ | ١,٣٥ | ١,٥ |
| 1T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٣,٦ | ١٤٨٩,٤ | ١٥,٩ | ٩٣,٩ | ٢,٦٩ | ٩٦,٤ |
| | | | | | | | |
| 2X | غير معالجة | ٦١,٣ | ٨١٥,٧ | ٥٧,١ | – | ٩,٥ | – |
| 2P | Primal WS24 | ٣٩,٦ | ١٢٦٢,٨ | ٨٨,٤ | ٥٤,٨ | ١٤,٨ | ٥٥,٨ |
| 2D | Dispersion K6Glanz | ٣٣.٤ | ١٤٩٥,٧ | ١٠٤,٧ | ٨٣,٤ | ١٦,٩ | ٧٧,٩ |
| 2W | Wacker BS1306 | ٣٦,٨ | ١٣٧٥,١ | ٩٥ | ٦٦,٤ | ١٥,٧ | ٦٥,٢ |
| 2M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٤٤,٤ | ١١٢٧,١ | ٧٨,٩ | ٣٨,٢ | ١٢,٦ | ٣٢,٦ |
| 2PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥٦,٦ | ٨٨٢,٧ | ٦١,٨ | ٨,٢ | ٩,٥ | صفر |

| رقم العينة | المادة المقوية **Conslidant** | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٠,٨ | ١٦٢١,٤ | ١١٣,٥ | ٩٨,٨ | ١٩ | ١٠٠ |
| | | | | | | | |
| 3X | غير معالجة | ٦٠,٤ | ٨٢٧,٨ | ١.١ | – | ٠,٢٢ | – |
| 3P | Primal WS24 | ٥١,١ | ٩٧٨,٣ | ١,٣ | ١٨,٨ | ٠,٢٥ | ١٣,٦ |
| 3D | Dispersion K6Glanz | ٨,١ | ٦١٧٠,٩ | ٨,٢ | ٦٤٥,٥ | ١,٦ | ٦٢٧,٢ |
| 3W | Wacker BS1306 | ٤٤,٣ | ١١٢٨,٨ | ١,٥ | ٣٦,٤ | ٠,٢٥ | ١٣,٦ |
| 3M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٧,٠٤ | ٢٩٣٤,٩ | ٣,٩ | ٢٥٤,٥ | ٠,٦٥ | ١٩٥,٥ |
| 3PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٨,٩ | ١٧٣٠,٩ | ٢,٣ | ١٠٩ | ٠,٣ | ٣٦,٤ |
| 3T | Tetra Ethoxy Silane | ٥,٢ | ٩٥٥٧,٣ | ١٢,٧ | ١٠٥٤,٥ | ٢,٣ | ٩٤٥,٤ |
| | | | | | | | |
| 4X | غير معالجة | ٦١,١ | ٨١٨,٣ | ٢,٥ | – | ٠,٥ | – |
| 4P | Primal WS24 | ٣٤,٦ | ١١٤٥,٦ | ٣,٥ | – | ٠,٩ | ٨٠ |
| 4D | Dispersion K6Glanz | ٥٨,٨ | ٨٥١ | ٢,٦ | ٣,٨ | ٠,٤٧ | ٦ |
| 4W | Wacker BS1306 | ٥٨,٨ | ٨٥١ | ٢,٦ | ٩١,٥ | ٠,٤٧ | ٩٢,٢ |
| 4M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٤٧,٧ | ١٠٤٧,٤ | ٣,٢ | ٨٩,٥ | ٠,٨٨ | ٨٥,٥ |
| 4PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٥٢,٧ | ٩٤٩,٢ | ٢,٩ | ٩٠,٥ | ٠,٦ | ٩٠,١ |
| 4T | Tetra Ethoxy Silane | ١٦,٠٨ | ٣١٠٩,٥ | ٩,٥ | ٦٨,٩ | ١,٩ | ٦٨,٨ |
| | | | | | | | |
| 5X | غير معالجة | ١٢٨,٢ | ٣٩٠ | ٣,١ | – | ٠,٦٢ | – |
| 5P | Primal WS24 | ٧٥ | ٦٦٦,٨ | ٥,٣ | ٧٠,٩ | ١.١ | ٧٧,٤ |
| 5D | Dispersion K6Glanz | ٧٩,٥ | ٦٢٩ | ٥ | ٦,١ | ٠,٩ | ٤٥,١ |
| 5W | Wacker BS1306 | ١٢٨,٢ | ٣٩٠ | ٣,١ | صفر | ٠.٦ | ٣,٢ |

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن انتقال الموجات فوق الصوتية بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٦٩,٧ | ٧١٧,١ | ٥,٧ | ٨٣,٨ | ١,١٢ | ٨٠,٦ |
| 5PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٢٠,٤ | ٤١٥,٢ | ٣.٣ | ٦,٥ | ٠,٧٢ | ١٦,١ |
| 5T | Tetra Ethoxy Silane | ٤٠,١ | ١٢٤٥,٥ | ٩.٩ | ٢١٩,٣ | ١,٩ | ٢٠٦,٤ |
| | | | | | | | |
| 6X | غير معالجة | ٣١,٦ | ١٥٨٢,٣ | ٢٤,٥ | - | ٤,٩ | - |
| 6P | Primal WS24 | ٢٥,١ | ١٩٨٩,٢ | ٣٠,٨ | ٢٥,٧ | ٦,١ | ٢٤,٥ |
| 6D | Dispersion K6Glanz | ٢٣,٧ | ٢١١١,٩ | ٣٢,٧ | ٣٣,٥ | ٦,٥ | ٣٢,٧ |
| 6W | Wacker BS1306 | ٢٦,٩ | ١٨٦٠ | ٢٨,٨ | ١٧,٦ | ٥,٨ | ١٨,٣ |
| 6M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢٧,٤ | ١٨٢٧,٧ | ٢٨,٣ | ١٥,٥ | ٥,٢ | ٦,١ |
| 6PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٨,٧ | ١٧٤٣,٨ | ٢٧ | ١٠,٢ | ٤,٩ | صفر |
| 6T | Tetra Ethoxy Silane | ٢٠,٤ | ٢٤٤٧,٧ | ٣٧,٩ | ٥٤,٧ | ٧.٧ | ٥٧,١ |
| | | | | | | | |
| 7X | غير معالجة | ١٨,٥ | ٢٧٠٢,٧ | ١٦٧,٣ | - | ٢٧,٩ | - |
| 7P | Primal WS24 | ١٢,٩ | ٣٨٧٦,٧ | ٢٤٠,٤ | ٣٤,٧ | ٣٩,٧ | ٤٢,٢ |
| 7D | Dispersion K6Glanz | ١٧,٤ | ٢٨٧٣,٩ | ١٧٧,٩ | ٦,٣ | ٢٩,٥ | ٥,٧ |
| 7W | Wacker BS1306 | ١٥,٣ | ٣٢٦٨,١ | ٢٠٢,٣ | ٢٠,٩ | ٣٣,٦ | ٢٠,٤ |
| 7M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٨,٤ | ٢٧٢٢,١ | ١٦٨,٥ | ٠,٧ | ٢٧,٧ | ٠,٧ |
| 7PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٨,٥ | ٢٧١٢,٤ | ١٦٧,٩ | ٠,٣ | ٢٩,٧ | صفر |
| 7T | Tetra Ethoxy Silane | ١٣,١ | ٣٨٠٩,٣ | ٢٣٥,٨ | ٤٠,٩ | ٣٩,١ | ٤٠,١ |
| | | | | | | | |
| 8X | غير معالجة | ١٩,٣ | ٢٥٩٠,٧ | ٢٤٤,٨ | - | ٤٠,٨ | - |

| رقم العينة | المادة المقوية Conslidant | زمن الإنتقال بالميكروثانية | سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية م/ث | قوة تحمل الضغط كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الضغط % | قوة تحمل الشد كجم/سم٢ | التغير فى قوة تحمل الشد% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8P | Primal WS24 | ١٧,٠٣ | ٢٩٣٥,٧ | ٢٧٥,٤ | ١٢,٥ | ٤٥,٧ | ١٠٠,٢ |
| 8D | Dispersion K6Glanz | ١٦,٠٨ | ٣١٠٩,٣ | ٢٩٠.٥ | ١٨,٧ | ٤٧,٢ | ٨٨,٣ |
| 8W | Wacker BS1306 | ١٤,٨ | ٣٣٦٧,٥ | ٣١٧,٨ | ٢٩,٨ | ٥٢,٩ | ٢٩,٧ |
| 8M | Methyl Tri Methoxy Silane | ١٩ | ٢٦٤٢,٦ | ٢٤٧,٩ | ١,٣ | ٤١,٢ | ٠,٩٨ |
| 8PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ١٤,٤ | ٣٤٧٥,٤ | ٣٢٧,٧ | ٣٣,٩ | ٥٣,٩ | ٣٢,١ |
| 8T | Tetra Ethoxy Silane | ١٣,٠٨ | ٣٨٢١,٥ | ٣٦٠,٩ | ٤٧,٤ | ٥٩,٤ | ٤٥,٦ |
| | | | | | | | |
| 9X | غير معالجة | ٤٠,٥ | ١٢٣٤,٦ | ٧,١ | - | ١,٤ | - |
| 9P | Primal WS24 | ٢٧,١ | ١٨٤٣,٢ | ٣٨ | ٩,٨ | ١,٨ | ٢٨,٥ |
| 9D | Dispersion K6Glanz | ٢٨,٢ | ١٧٧٣,٧ | ٩,٥ | ٣٣,٨ | ١,٥ | ٧,١٤ |
| 9W | Wacker BS1306 | ٢٣,٦ | ٢١٢١,٤ | ١١,٧ | ٦٤,٨ | ٢.٢ | ٠,٨ |
| 9M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٢٦,٦ | ١٨٧٧,٩ | ١٠,٢ | ٤٣,٦ | ٢,١ | ٥٠ |
| 9PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٢٧,١ | ١٨٤٣,٢ | ٩,٨ | ٣٨ | ١,٩ | ٣٥,٧ |
| 9T | Tetra Ethoxy Silane | ٢٣ | ٢١٧٣,٦ | ١٢,٣ | | ٢,٤ | ٧١,٤ |
| | | | | | | | |
| 10X | غير معالجة | ٥١,١ | ٩٧٨,٥ | ٣٠,٦ | - | ٦,١ | - |
| 10P | Primal WS24 | ٤٠,٣ | ١٢٤٠,٧ | ٣٧,٦ | ٧٣,٢ | ٧,٢ | ١٨ |
| 10D | Dispersion K6Glanz | ٤٩,٢ | ١٠١٦,٩ | ٣٠,٩ | ١٩,٤ | ٦,١ | صفر |
| 10W | Wacker BS1306 | ٤٦,٧ | ١٠٧١,٢ | ٣٢,٨ | ٧,١٨ | ٦,٣ | ٣,٢ |
| 10M | Methyl Tri Methoxy Silane | ٣٨,٣ | ١٣٠٤,٧ | ٤٠,٢ | ٣١,٤ | ٧,٩ | ٢٩,٥ |
| 10PO | Poly Methyl Hydro Siloxane | ٤٠,٢ | ١٢٤٣,٩ | ٣٧,٣ | ٢١,٩ | ٧,٣ | ١٩,٦ |
| 10T | Tetra Ethoxy Silane | ٣٠,٧ | ١٦٣٠,٨ | ٥٠,٤ | ٦٤,٧ | ٩,٨ | ٦٠,٦ |

ومن النتائج السابقة نجد حدوث تغيرات فى قيم الخواص الميكانيكية لعينات المونات بعد التقادم وبمقارنة النتائج نجد أن المونات أرقام (٨)،(٧)،(٢) قد أعطت أفضل النتائج من حيث ثباتها وقوة تحملها بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها والنتائج ممثلة بالأشكال أرقام (٧٦)،(٧٧)،(٧٨) على الترتيب ، ويقترح اختيار المونة رقم (٧) والمكونة من رمل + أسمنت أبيض + مسحوق الحجر الجيرى بالنسب ٣ : ٢ : ١ لاستخدامها كمونة للاستكمال بمئذنة يشبك من مهدى نظراً لتناسب مكوناتها للاستخدام مع الحجر الجيرى أكثر من المونة رقم (٨) .

## الفحص بالميكروسكوب الإلكترونى الماسح للعينات المعالجة بعد التقادم

## Scanning Electron Microscope [SEM] Examination After Artificial Aging

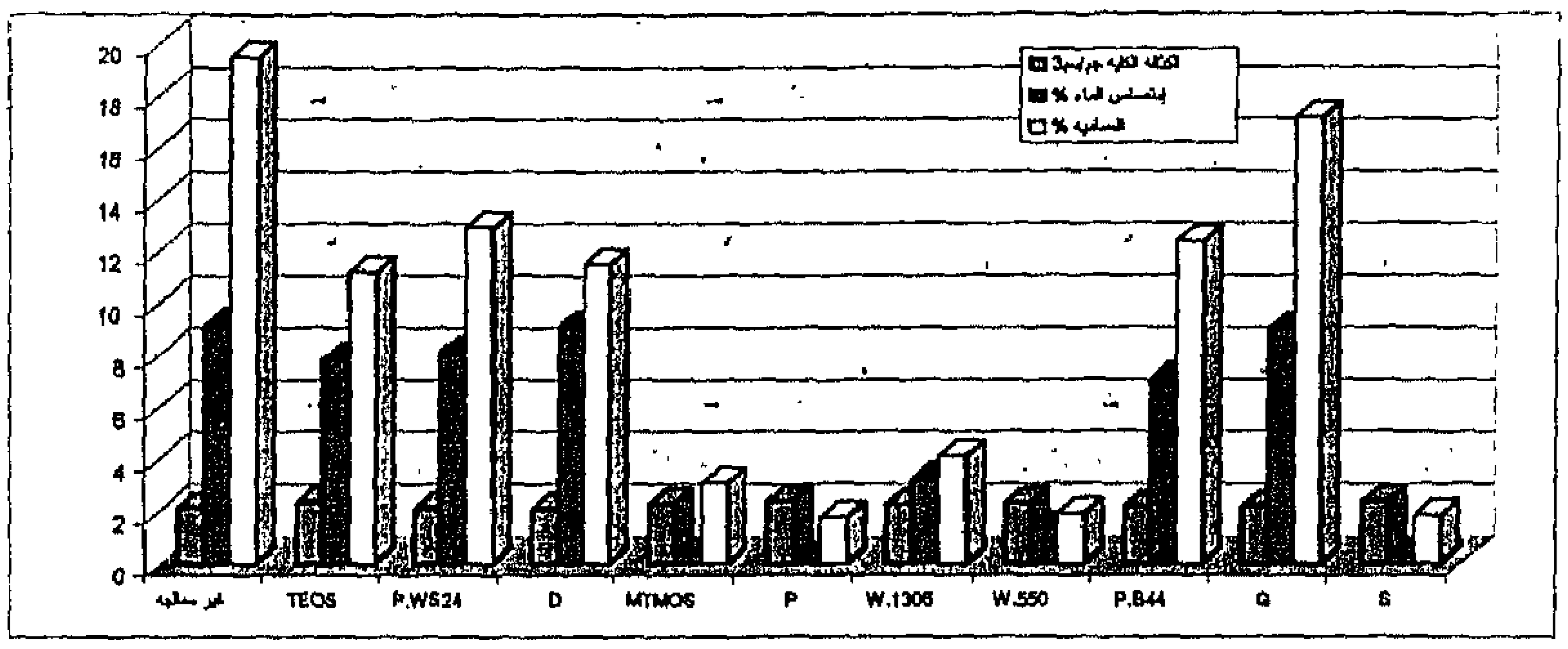
تبين بعد الفحص بواسطة الميكروسكوب الإلكترونى الماسح (SEM) للعينات المعالجة بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها محافظة مادة Ethyl Silicate على انتشارها المتجانس والجيد بين حبيبات المونات ولم تتأثر بإجراء عمليات التقادم الصناعى عليها كما يتضح من الصورة رقم (١٣٣) ، وكذلك لم تتأثر مادة Poly Methyl Hydro Siloxane بعمليات التقادم الصناعى ولم تتأثر كفائتها فى تقوية وعزل المونات المعالجة بها كما يتضح من الصورة رقم (١٣٤) وكذلك لم تتأثر مادة Methyl Tri Methoxy Silane كما يتضح من الصورة رقم (١٣٥) بينما تأثرت العينات المعالجة بمادة Primal WS24 ومادة Dispersion K6Glanz وذلك كما يتضح من الصور أرقام (١٣٦)،(١٣٧) .

# (٣) عمليات العلاج والترميم والصيانة لمئذنة يشبك من مهدى

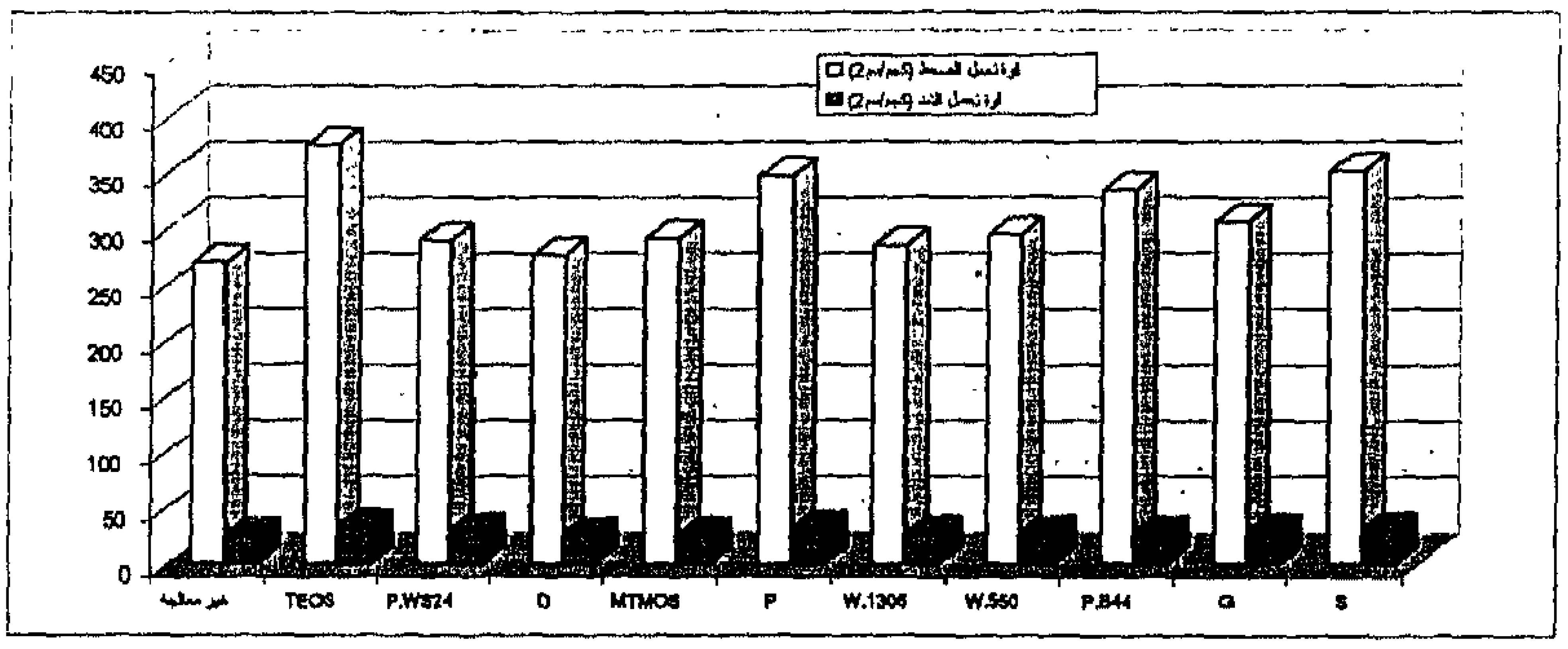
من خلال دراسة الوضع الراهن للمئذنة والفحوص والتحاليل لمواد بناء المئذنة وكذلك عمليات الرصد المساحى ومراقبة الحركة الأفقية للمئذنة ومدى إتزانها بواسطة الأجهزة المساحية إلى جانب الدراسة الإنشائية والتحليل الإنشائى للاجهادات الناتجة فى المئذنة تحت تأثير الأحمال الرأسية والأفقية أتضح أن المئذنة متزنة إنشائياً ولا تحتاج لحلول إنشائية أو أعمال ترميم هندسى ولكن هناك العديد من العمليات الخاصة بالعلاج والترميم والصيانة والتنسيق للمحيط البيئى للمئذنة يجب إجرائها طبقاً لنتائج دراسات الوضع الراهن للمئذنة وتتضمن هذه العمليات إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات والمهملات المحيطة بالمئذنة وخفض منسوب الأرض المحيطة بالمئذنة حتى نصل إلى المنسوب الأصلى للمئذنة على الأقل فى المناطق المحيطة بها إلى جانب ذلك هناك العديد من أعمال الترميم المعمارى والترميم الدقيق والتى تتطلب حالة المئذنة إجرائها وذلك كالتالى :-

## أولاً : إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات حتى منسوب أرضية المئذنة

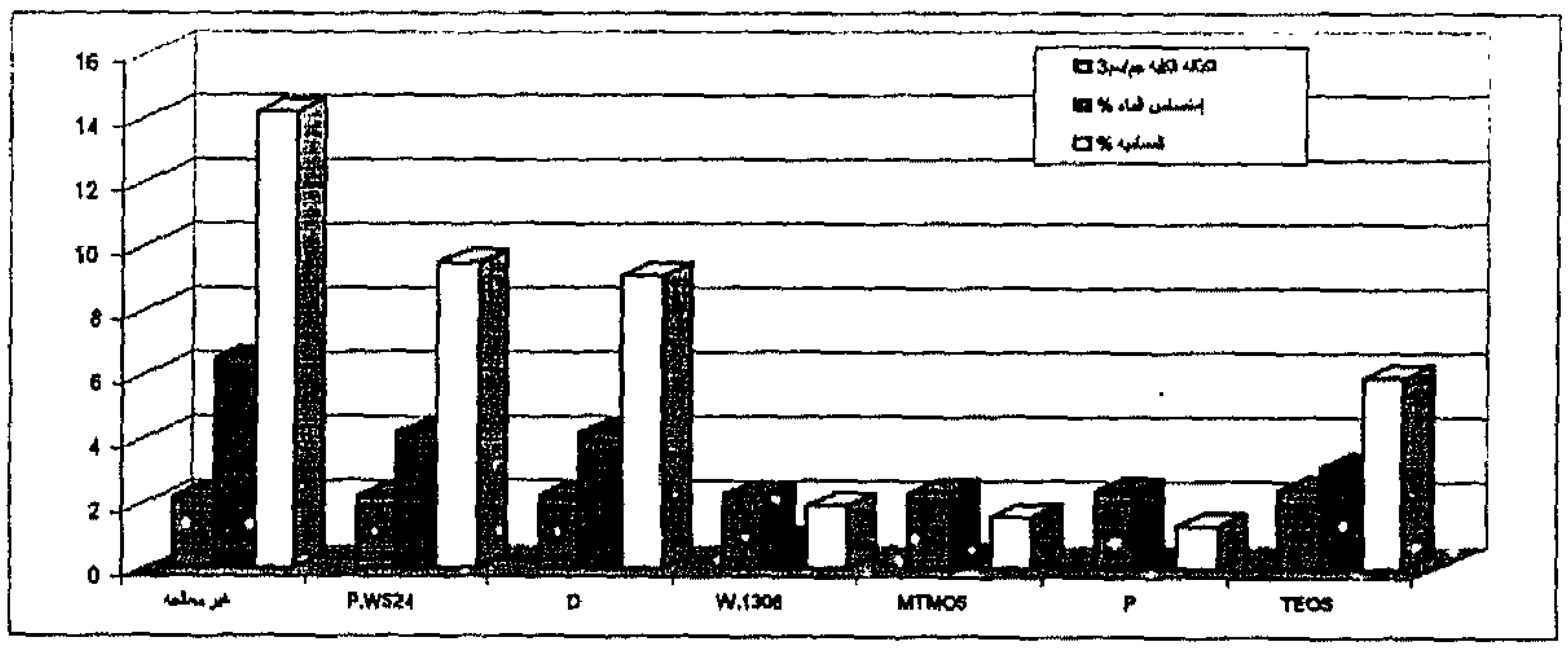
بدراسة التسجيل والتوثيق الفوتوغرافى والرفع المعمارى للمئذنة أتضح أن المئذنة تقوم قاعدتها على ساباط (ممر ذو سقف مقبى) يختفى أغلبه اسفل طبقات الردم والركام والمخلفات وأكوام القمامة المتراكمة كما يظهر فى اللوحتين رقمى (٦٠)،(٦٢) ويتضح ذلك من خلال الباب الخاص بمسجد الإمام الليث والذى يؤدى إلى المنطقة التى بها المئذنة كما يتضح من الصورة رقم ( ٣٨ ) وبالتالى فلابد من إزالة طبقات الردم والركام والمخلفات إلى منسوب أرضية المئذنة وإظهار الساباط (الممر) الخاص بالمئذنة بشكل كامل وعمل إظهار



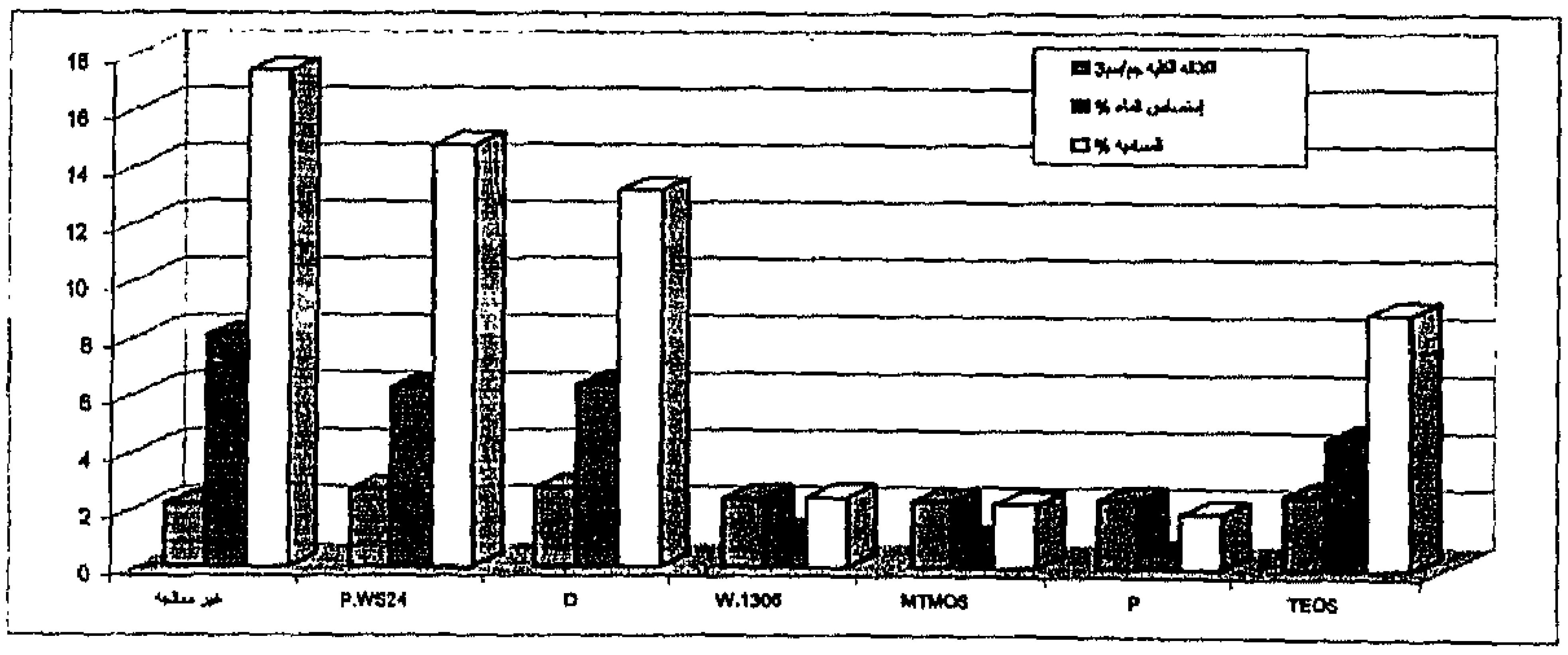

شكل رقم (٧١) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها



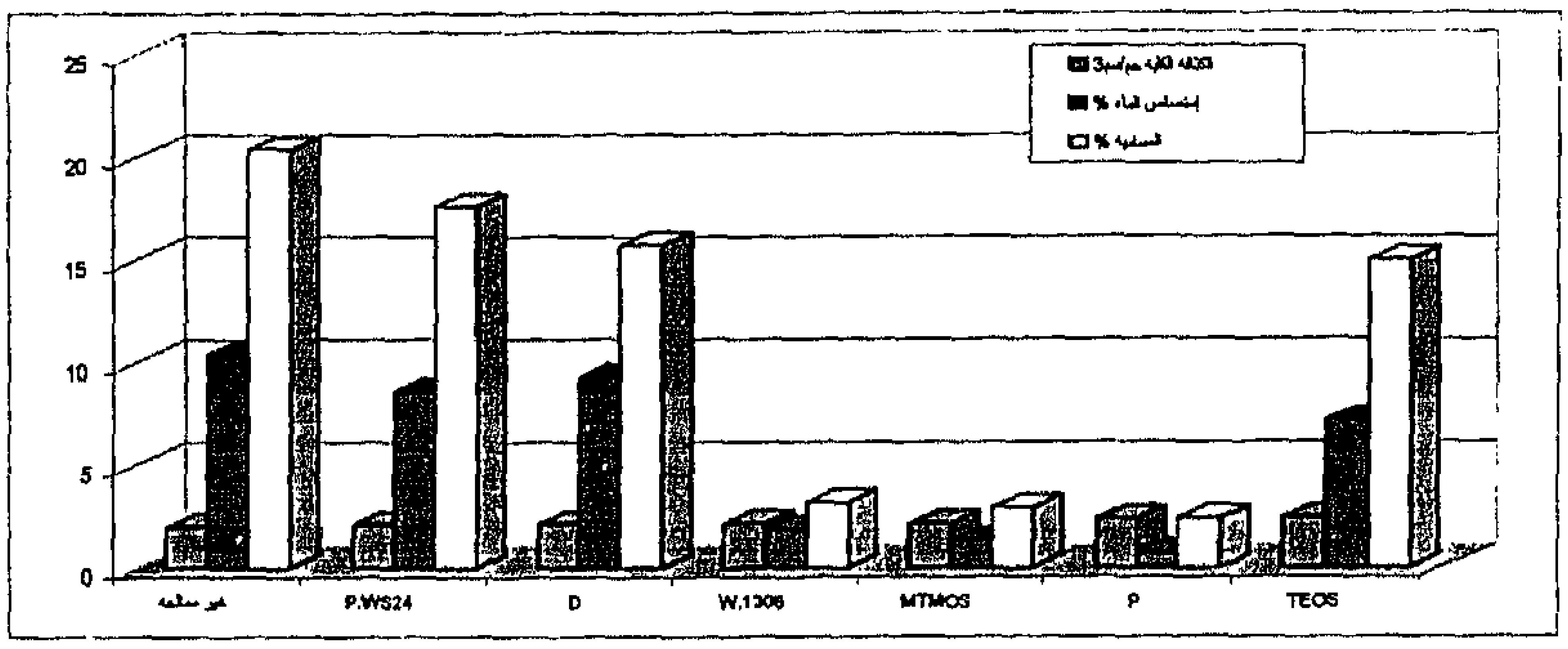

شكل رقم (٧٢) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها



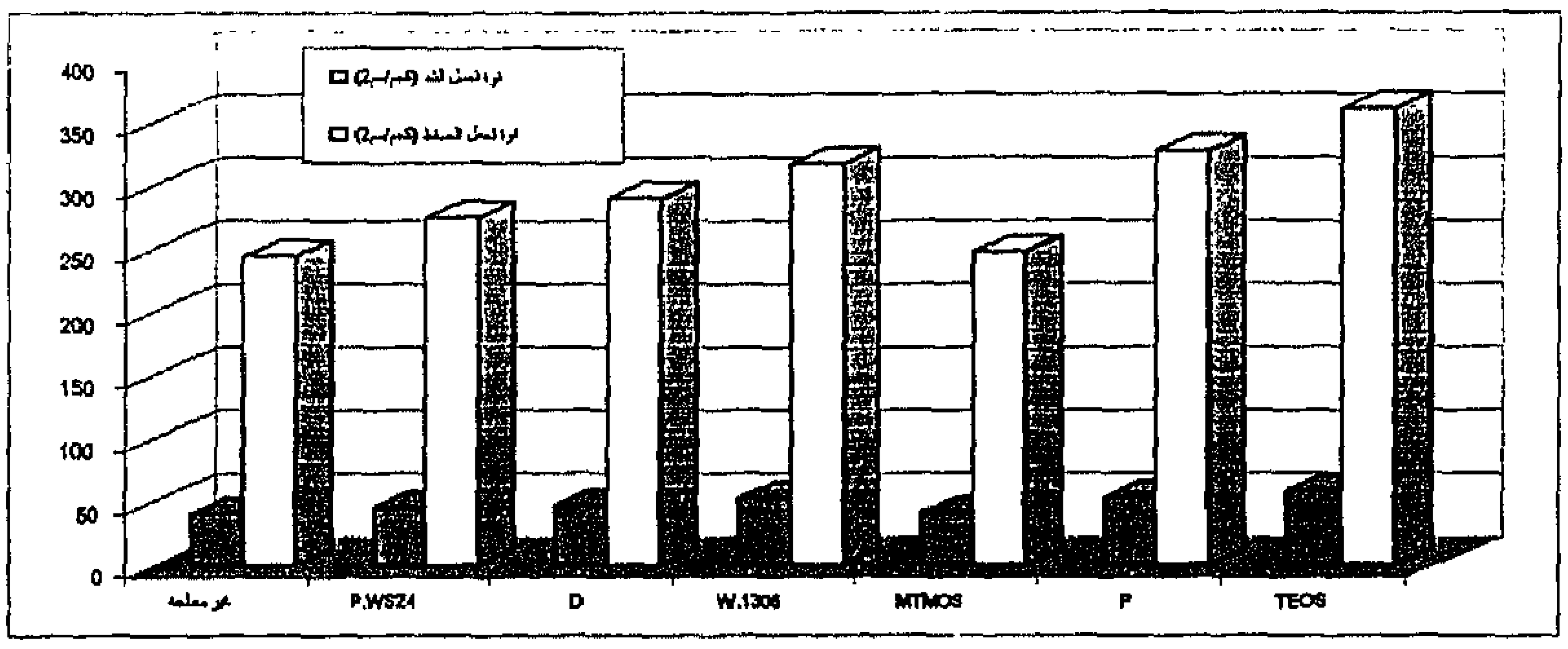

شكل رقم (٧٣) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٨) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى



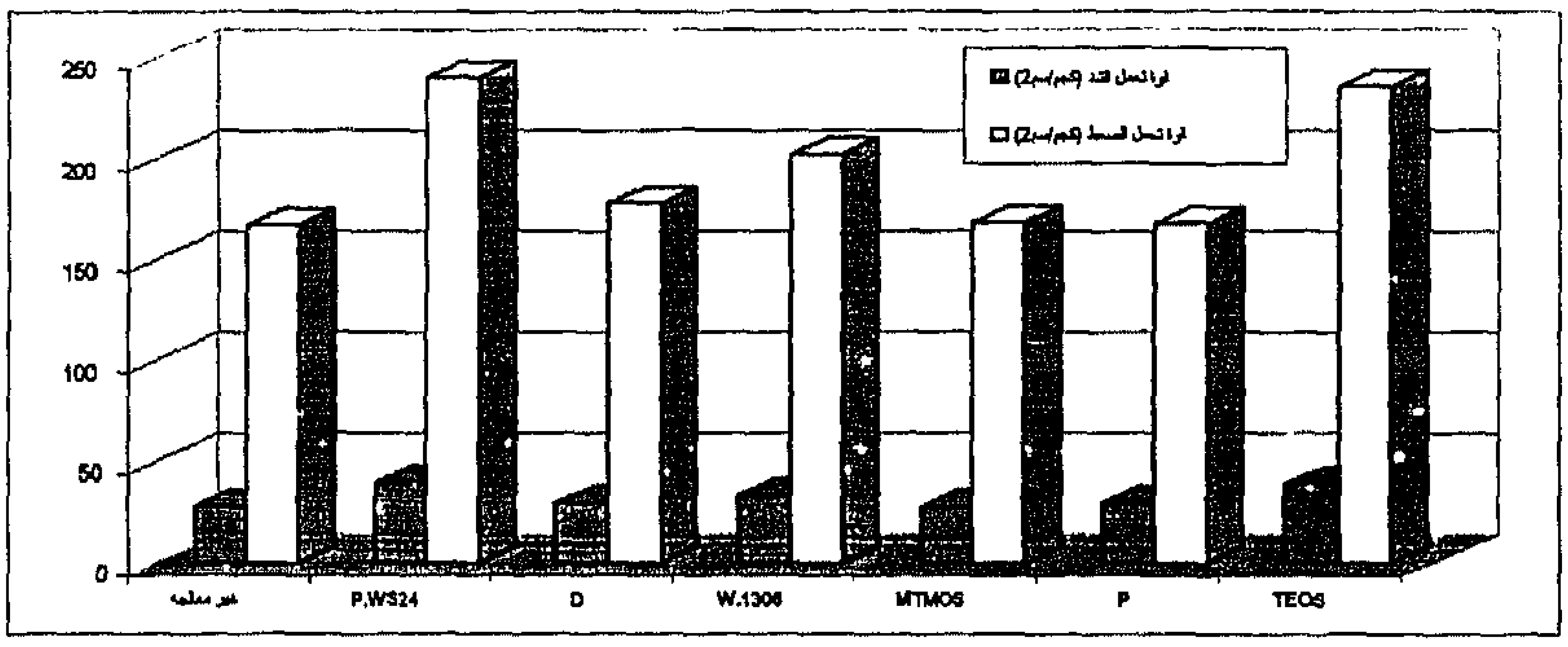

شكل رقم (٧٤) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٧) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى



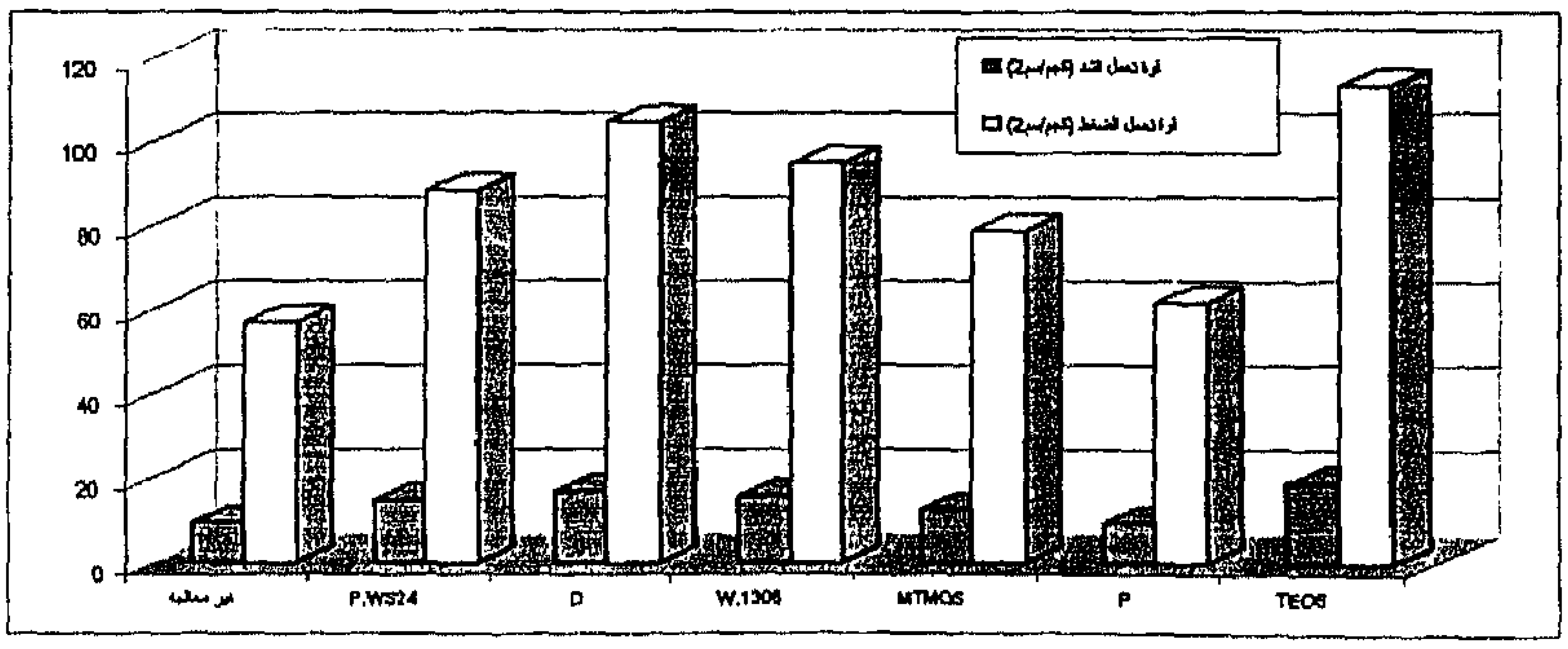

**شكل رقم (٧٥) يوضح الخواص الفيزيائية لعينات المونة رقم (٢) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها**



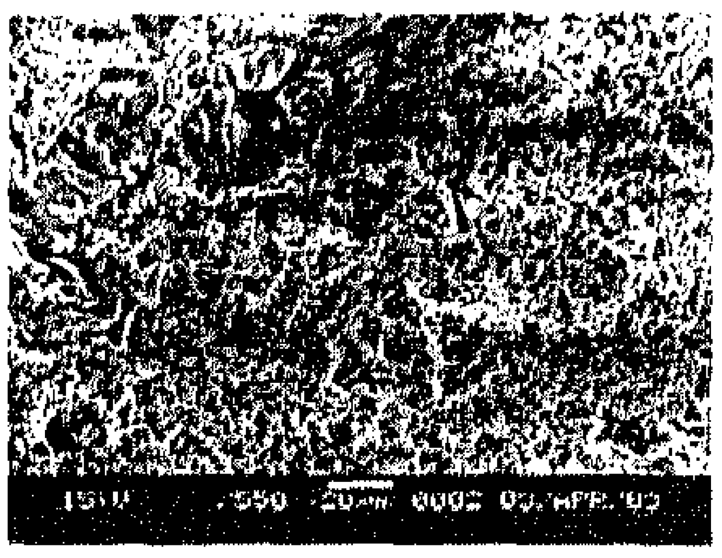

**شكل رقم (٧٦) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٨) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها**




**شكل رقم (٧٧) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٧) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها**



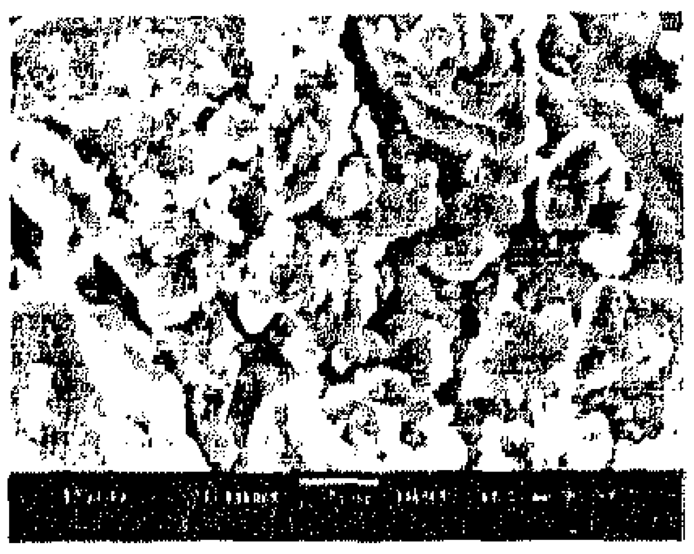

**شكل رقم (٧٨) يوضح الخواص الميكانيكية لعينات المونة رقم (٢) بعد إجراء عمليات التقادم الصناعى عليها**

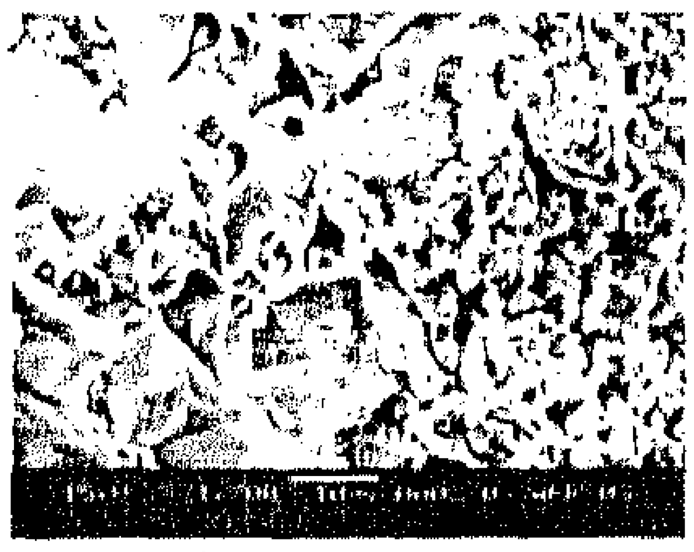

صورة رقم (١٢٣)
Dispersion K6 Glanz

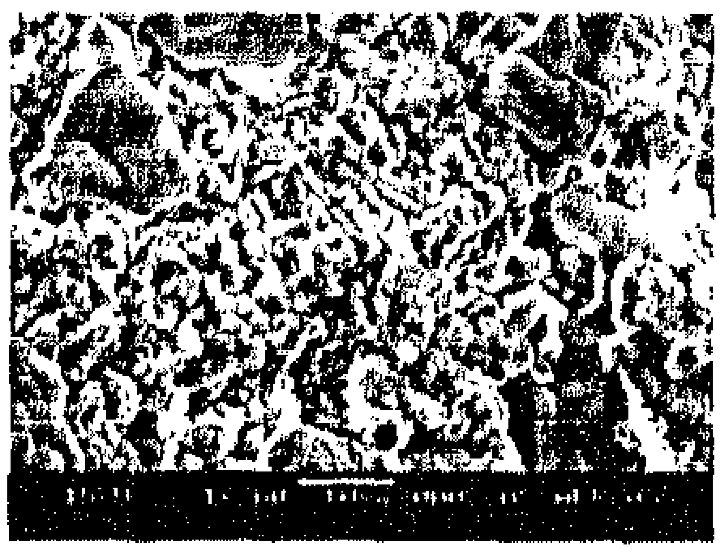
صورة رقم (١٢٤)
Poly Methyl Hydro Silaxone

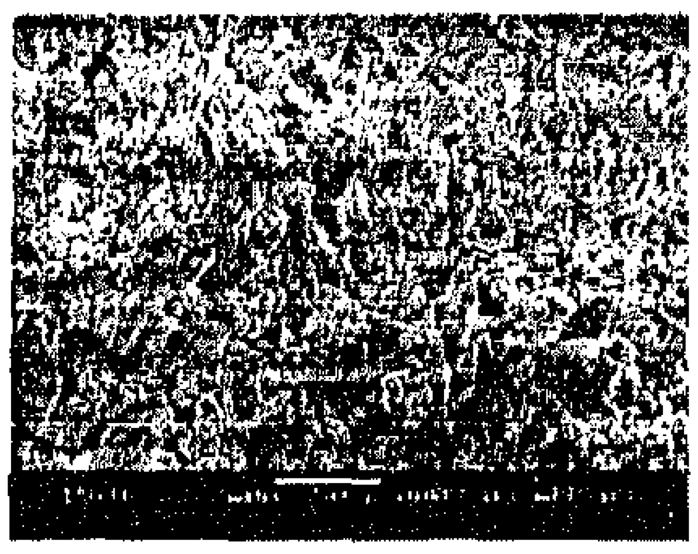
صورة رقم (١٢٥)
Silo 111

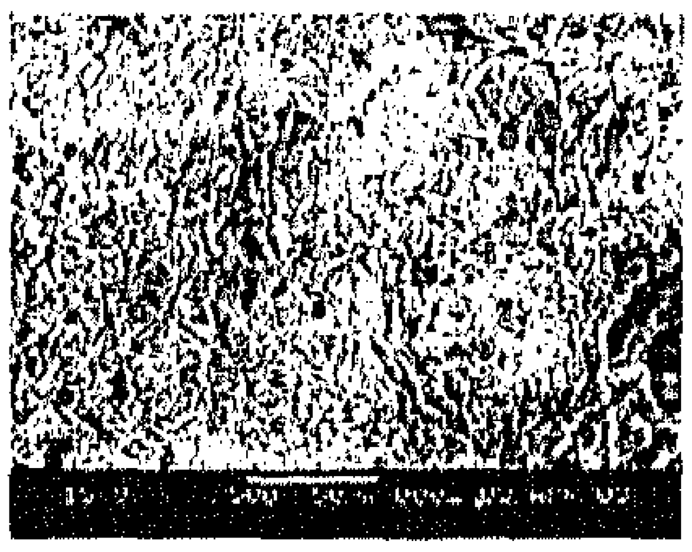
صورة رقم (١٢٦)
Methyl Tri Methoxy Silane

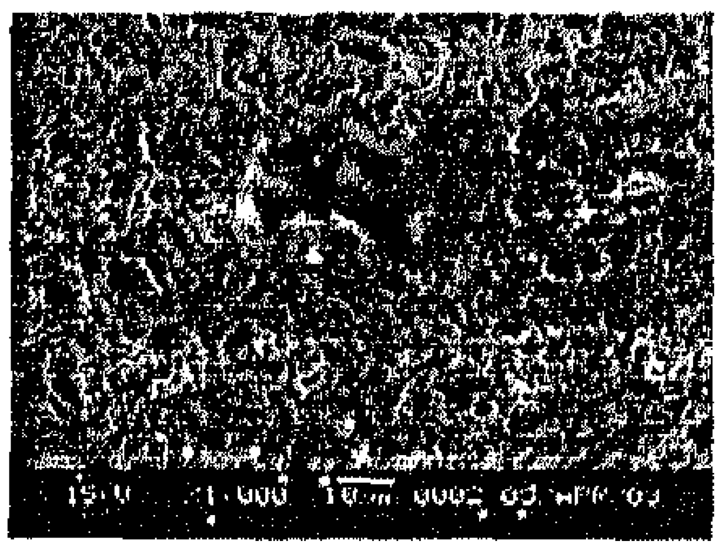

صورة رقم (١٢٧)
Primal WS 24


صورة رقم (١٢٨)
Dispersion K6 Glanz

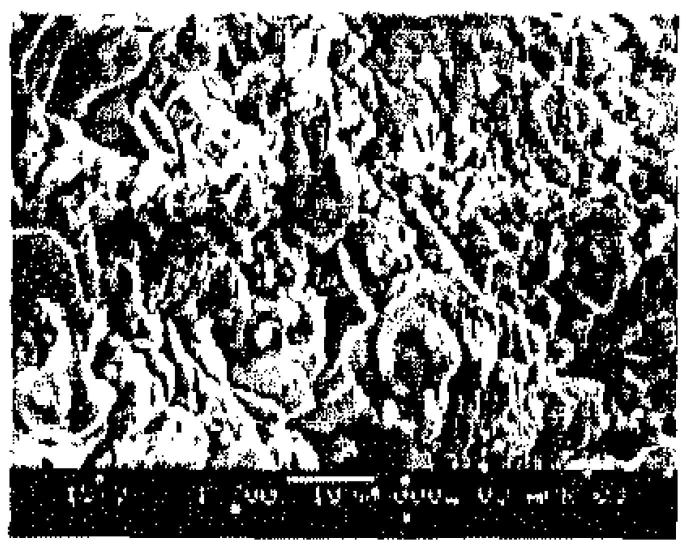

صورة رقم (١٢٩)
Ethyl Silicate

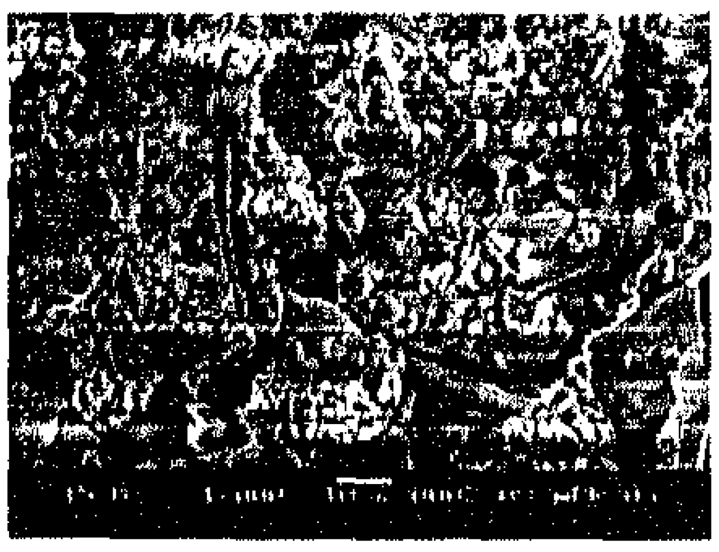

صورة رقم (١٣٠)
Wacker SMK 550


صورة رقم (١٣١)
Wacker BS 1306

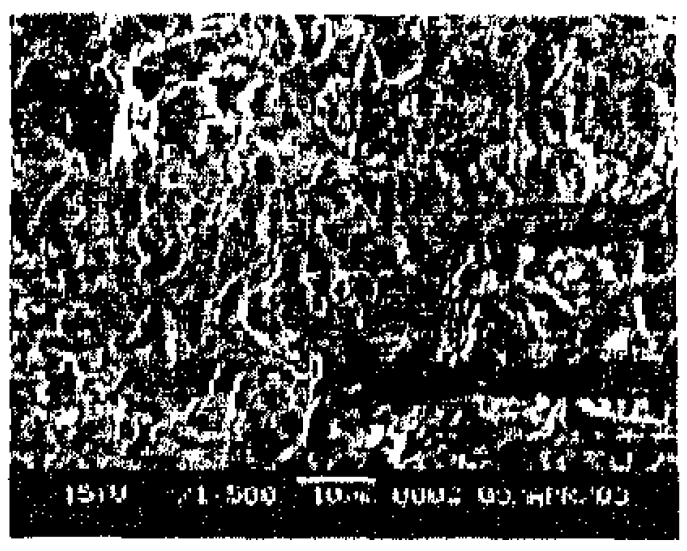

صورة رقم (١٣٢)
Gypstop-P17

صورة رقم (١٣٣)
Ethyl Silicate


صورة رقم (١٣٤)
Poly Methyl Hydro Siloxane


صورة رقم (١٣٥)
Methyl Tri Methoxy Silane

صورة رقم (١٣٦)
Primal WS 24


صورة رقم (١٣٧)
Dispersion K6 Glanz

الصور من رقم (١٢٤) إلى رقم (١٣٢) توضح فحص بواسطة [ SEM ] لعينات الحجر الجيرى بعد إجراء التقادم الصناعى عليها وموضح أسفل كل صورة مادة التقوية المستخدمة والتى تم إجراء التقادم الصناعى عليها .

الصور من رقم (١٣٣) إلى رقم (١٣٧) توضح فحص بواسطة [ SEM ] لعينات المونات بعد إجراء التقادم الصناعى عليها وموضح أسفل كل صورة مادة التقوية المستخدمة والتى تم إجراء التقادم الصناعى عليها .

( تصوير الباحث )

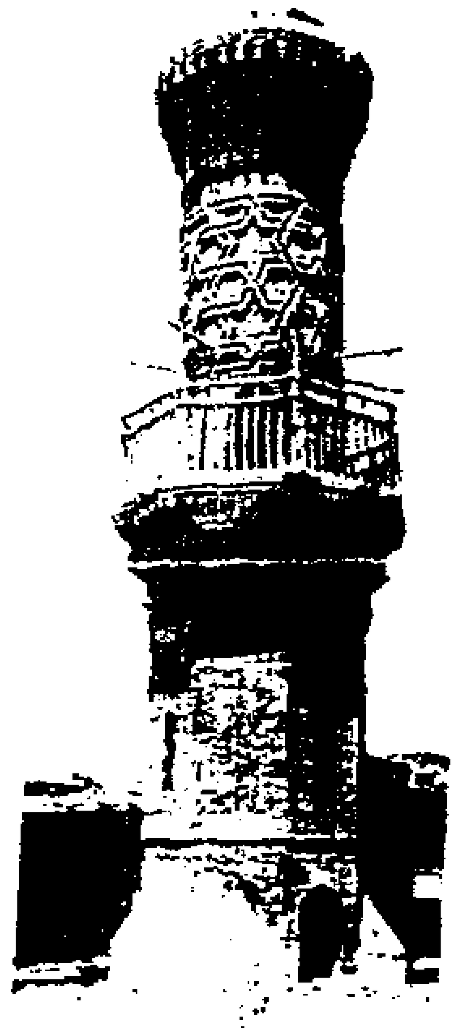
معمارى كامل للمئذنة كذلك حتى يتسنى لنا القيام بعمليات العلاج والترميم والصيانة المختلفة وكذلك إجـــراء عملية تنسيق الموقع العام للمئذنة فيما بعد مع نقل طبقات الردم والركام والمهملات إلى المقالب العمومية بعيداً عن موقع المئذنة ومسجد الإمام الليث ، وقد تمت إزالة طبقات كبيرة من الردم حيث تم إظهار قاعدة المئذنـــة والمداميك الحجرية السفلية لها ، ويظهر فى الصورتين رقمى (١٤٠)،(١٤١) الواجهـــة الشـــمالية الشـــرقية للمئذنة التى تحتوى على باب المئذنة ، وقد تم إظهار الممر النافذ والمداميك السفلية للمئذنة ، وتوضح الصورة رقم(١٤٢) الواجهة الجنوبية الغربية للمئذنة بعد أن تم إظهار الممر النافذ المقبى وتوضح الصورتان رقمـــى (١٤٣) ، (١٤٤) التلف والتآكل الذى تعرضت له بعض الكتل الحجرية التى كانت مغطاة بطبقات الردم التى تم إزالتها والتى يحتاج بعضها إلى عملية إستبدال ، كما توضح الصورة رقم (١٤٥) الجزء المحيط بالمئذنـــة والذى تم إزالة طبقات الردم منه.

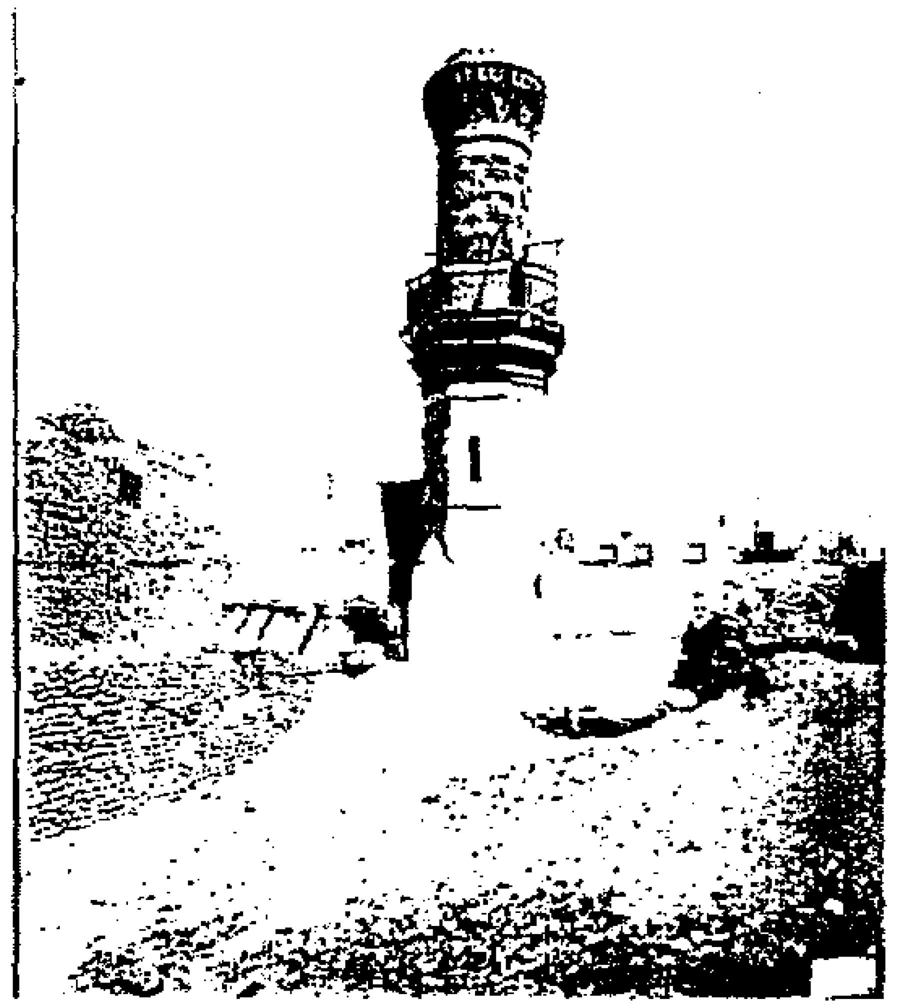
## ثانياً : أعمال الترميم المعمارى للمئذنة

تحتاج المئذنة إلى إجراء بعض أعمال الترميم المعمارى المتمثلة فى عمل تصميم لقمة المئذنة المفقـــودة فـــى الوضع الراهن لإمكانية التعرف على شكلها الأصلى بغض النظر عن تنفيذ أو عدم تنفيذ هذه القمة فى الواقـــع إلى جانب ذلك تتطلب حالة المئذنة تصميم سلم للصعود من منسوب الأرض حتى باب المئذنة المرتفـــع عـــن الأرض كما توجد بعض الكتل الحجرية التى تم نزعها أسفل باب المئذنة خلال عملية التركيب السابقة لقنطرة من الحديد تم تركيبها بشكل مائل تربط بين الأرض وباب المئذنة وتحتاج إلى عملية استكمال بالإضافة إلـــى استبدال بعض الكتل الحجرية المتأكلة والتالفة من قاعدة المئذنة .

### (أ) استكمال قمة المئذنة

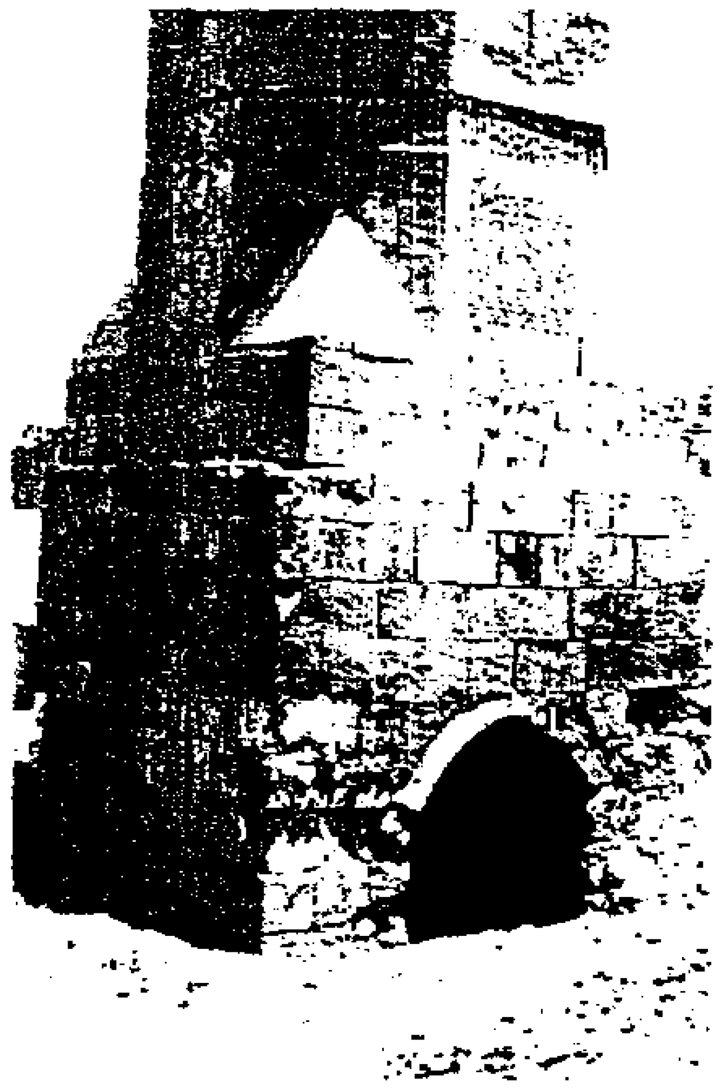
نظراً لفقدان المئذنة لجوسقها والقمة المملوكية الخاصة بها فقد كان من الضرورى تنـــاول هـــذا الموضـــوع بالدراسة والبحث عن الأصل الأثرى لقمة المئذنة وبدراسة طراز المئذنة من خلال الناحية التاريخية والأثريـــة تبين أن المئذنة تتبع الطراز المملوكى وهى تنتمى تاريخياً للعصر المملوكى الجركسى [ ٧٨٤هـــ- ٩٢١هـــ/ ١٣٨٢م – ١٥١٧م ] ويرجع تاريخ إنشائها إلى عام (٨٨٣هـــ / ١٤٧٩ م) والطراز المملوكى يبـــدأ بقـــاعدة مربعة ثم يعلوه عدة مستويات تأخذ الشكل المثمن أو الأسطوانى ونجد أن مئذنة يشبك من مهدى تبدأ بقـــاعدة مربعة بها ممر مقبى ( ساباط ) يعلوها المستوى الثانى للمئذنة وهو مثمن الشكل ثم المستوى الثالث للمئذنـــة وهو اسطوانى الشكل وطبقاً لطراز المئذنة نجد من المرجح أنه كان يعلو هذا المستوى الأســـطوانى ثمانيـــة أعمدة تحمل الجوسق الذى يشبه القلة المقلوبة فى نهايته وهى قمة المئذنة ، وكان لابد من البحث فى المصادر المختلفة عن الأصل الأثرى المعمارى للمئذنة كما ورد ذكره بالفصل الرابع من الرسالة ولكن لم يتم العثـــور على وثيقة ليشبك من مهدى منشئ المئذنة والتى ربما كنا سنتعرف من خلالها على الشكل الأصلـــى الكـــامل للمئذنة كما لم يتم العثور على أى رسومات معمارية أو نصوص مكتوبة أو وثائق أخرى خاصة بالأمير يشبك من مهدى أو بمسجد الإمام الليث تدل على الشكل الكامل للمئذنة حتى نهاية قمتها وبـــالرجوع إلـــى ارشـــيف السلبيات الفوتوغرافية بالقلعة التابع للمجلس الأعلى للآثارتم العثور على صورتين فوتوغرافيتيـــن قديمتيـــن تمثلان المئذنة وقد فقدت قمتها كما هو الحال فى الوقت الراهن صورتين رقمى (١٣٨)،(١٣٩) ولكن ذلك لـــم يدل على الشكل المعمارى الكامل للمئذنة وبذلك لم تنجح محاولات البحث فى المصادر المختلفة لمعرفة الشكل


صورة رقم (١٣٨)


صورة رقم (١٣٩)

صورة رقم (١٤٠)

صورة رقم (١٤١)


صورة رقم (١٤٢)

صورة رقم (١٤٣)

صورة رقم (١٤٤)

صورة رقم (١٤٥)

(تصوير الباحث)

صورة رقم (١٣٨)، (١٣٩) صورتان أرشيفيتان لمئذنة يشبك من مهدي.

الصور من رقم (١٣٩) إلي رقم ١٤٥ توضح مئذنة يشبك من مهدي بعد إزالة طبقات الردم من حول المئذنة وإظهار الممر النافذ أسفلها، وكتل الأحجار التالفة بقاعدة المئذنة .

المعمارى الأصلى الكامل للمئذنة ومن ثم فقد اعتمدت محاولة التعرف على الشكل الأصلى للمئذنة على عملية المقارنة بين المئذنة موضع الدراسة والتى تنتمى للطراز المملوكى والمآذن الأخرى التى تنتمى للعصر المملوكى الجركسى وبالمقارنة وجد أن مئذنة يشبك من مهدى تتشابه مع مأذن العصر المملوكى من حيث التكوين المعمارى وبالاستعانة بروح العصر ومفردات الطراز المعمارى للمآذن الأثرية فى العصر المملوكى تم عمل تصميم لقمة المئذنة باستخدام الحاسب الآلى حيث تم تكوين هذا الجزء من ثمانية أعمدة من الرخام بشكل منتظم وعلى أبعاد متساوية وذات قطاعات مناسبة لكتلة المئذنة بحيث يتم تثبيتها فى نهاية الجزء الأسطوانى من البدن (المستوى الثالث ) ميكانيكيا بعمل ثقوب فى قاعدة العمود وفى المكان الذى سيتم تثبيت كل عمود فيه من البدن الإسطوانى مع وضع أسياخ من الصلب ذات أقطار مناسبة للربط بين الأعمدة والبدن الاسطوانى مع الاستعانة بمونة مكونة من الإيبوكسى مع مسحوق الرخام لإجراء عملية اللصق والتثبيت على أن يتم ضبط رأسية الأعمدة تماماً مساحياً ، كما تم تصميم الجوسق ذو الطراز المملوكى الذى يشبه غطاء قلة الشرب وتنتهى قمة المئذنة بهلال مفرغ من النحاس المطروق ويتضح ذلك من اللوحات أرقام (٦١)،(٦٣)،(٦٤)،(٦٥)،(٦٧) ، ومما سبق ذكره نكون قد توصلنا عن طريق الرجوع إلى الطراز المعمارى للمئذنة بالمقارنة بالمآذن الأثرية الأخرى التى تعود لنفس العصر وتنتمى لنفس الطراز إلى الشكل الأصلى الأرجح للمئذنة دون وجود دليل مادى وثائقى على الشكل الأصلى للمئذنة وذلك الأمر هام لكى يكون هناك تصوراً علمياً للشكل الأصلى لهذه المئذنة الناقصة ، و بالرجوع إلى المادة التاسعة من ميثاق فينسيا (١٩٦٤)[1] وهو ميثاق دولى لصيانة وترميم الآثار والمواقع الأثرية نجدها تنص على أن عملية الترميم عملية متخصصة بدرجة عالية والهدف منها حماية المبنى الأثرى وكشف قيمه الجمالية والتاريخية والتى تبنى على احترام الأصالة المادية وأصالة الوثائق ويجب أن تتوقف عملية الترميم فى اللحظة التى يبدأ فيها التخمين وإذا كان لابد من الإضافة فى هذه الحالة يجب ألا يتم أى ترميم دون أن تسبقه دراسة تاريخية وأثرية ، وفى حالة مئذنة يشبك من مهدى نجد أن توصلنا إلى شكل مقارب للشكل الأصلى للمئذنة ولم يتم استناداً إلى وثيقة أو مصدر أو دليل مادى ولكن أعتمد على المقارنة طبقاً للطراز المعمارى للمئذنة وتشابهها مع مآذن أثرية أخرى تعود لنفس الطراز ومن ناحية أخرى فإنه لا يوجد خطر على المئذنة من عملية استكمال الجوسق والقمة الخاصة بالمئذنة وتم التوصل إلى هذه النتيجة من خلال الدراسة الإنشائية للحمال والاجهادات الناتجة عن إضافة هذا الجزء حيث وجد أنه لن يؤثر على ثبات وإتزان المئذنة إنشائياً و هناك عدة اعتبارات لعملية الاستكمال يجب مراعاتها ومنها :

- أن عملية الاستكمال الهدف منها صيانة الأثر والحفاظ عليه وفى حالة مئذنة يشبك من مهدى فإن الجوسق إنهار وفقد بشكل كامل وفقدت المئذنة قمتها .
- تعتبر المئذنة من خلال الدراسة والتحليل الإنشائى لها آمنة إنشائياً بحالتها الراهنة ولا يؤثر فقدان الجوسق على حالتها واستقرارها ومن ثم لا توجد خطورة إنشائية عند استكمال قمة المئذنة .
- تهدف عملية الاستكمال إلى القضاء على نقاط ضعف العنصر المعمارى (المئذنة) لكى نحصل على تقوية وتدعيم للمئذنة وحيث أن الجزء الذى سيتم استكماله هنا هو قمة المئذنة وهى طبقاً للطراز المعمارى لها مكونة من عدة مستويات تنتهى بأعمدة تحمل جوسق ، ونجد أن استكمال القمة سوف يعيدها إلى اصلها المتكامل من الناحية المعمارية والفنية ، و يجب عند استكمال قمة المئذنة وجوسقها أن

( 1) The Venice Charter, Unesco And ICOMOS, 1964, Article , 9.

يتم ذلك طبقا لأحدث الأساليب الهندسية والانشائية لتثبيت الجوسق والأعمدة الحاملة له وضبط رأسيتها مساحيا واستخدام مونه مناسبة قوية لحمايته من السقوط والانهيار مرة أخرى .

- وهناك اعتبارات أخرى فى عملية الاستكمال يجب مراعاتها ومنها أن الأجزاء التى يتم استكمالها يجب أن تندمج بشكل منسجم مع البناء ككل ولكن يجب فى نفس الوقت تميزها عن الأجزاء الأصلية لكى لا يؤدى الترميم إلى تزييف الشواهد الفنية والتاريخية (١) ، ونجد كذلك أنه ينبغى استكمال الأجزاء المفقودة من الأثار الإسلامية ضماناً للاستقرار أو للاسباب جمالية عندما تكون الصورة الأصلية قد وثقت توثيقاً حسناً أو عندما يكون من الممكن استنتاجها مما بقية وينبغى الأجزاء البديلة أن تتوائم مع الأثر ككل كما ذكرنا (٢) ، ونذكر هنا أيضاً أنه فى حالة المناطق أو المبانى الأثرية التى تتضمن عناصر تنتمى إلى فترات تاريخية مختلفة ينبغى أن يتم عملية الترميم والصيانة مع مراعاة كافة الملامح المميزة لتلك الفترات التاريخية (٣) ، وكذلك يجب أن تحترم جميع الأجزاء التى تعود إلى فترات تاريخية مختلفة ، ويجب إلا يتم إزالة أى جزء من أثر يعود لعصر مختلف عن عصر الأثر ككل بدون مبرر لذلك(٤) ونشير هنا إلى ما حدث من إزالة لقمة مئذنة مدرسة القاضى عبد الباسط (المدببة التى تم إضافتها فى العصر العثمانى) واستبدالها بقمة أخرى جديدة على نمط المئذنة ذات الطراز المملوكى وهى تتكون من جوسق محمول على ثمانية أعمدة كما يتضح من الصورتين رقمى (٢٢)،(٢٣) والتى قامت بترميمها لجنة حفظ الآثار العربية .

- ومن هنا نجد أن الدراسة التى تم القيام بها لعمل المئذنة هامة لمحاولة التعرف عل الشكل الأصلي الأثري للمئذنة قبل انهيار قمتها من خلال تحليل التكوين المعماري والطراز المعماري المملوكي للمئذنة حيث نجد ان المآذن المملوكية فى العصر المملوكى الجركسى وذلك فى الفترة من عام (٧٨٤هـ/١٣٨٢م ) وحتى عام (٩٢١ هـ/١٥١٧ م) كانت تتميز بقمم ونهايات متشابهه للمآذن الأثرية حيث يتكون المستوى الآخير منها من منطقة مكونة من عدة أعمدة (غالباً ثمانية تحمل الجزء العلوى المشكل على هيئة غطاء (قلة الشرب) وقد عرف هذا التكوين باسم الجوسق ولا يختلف هذا التكوين فى معظم مآذن العصر المملوكى إلا فى قمة أو نهاية المئذنة التى تشبه (قلة الشرب) ، وهذا الإختلاف طفيف جداً ويكون فى مدى إستدارة أو قطر أو إستطالة هذا الجزء أو إرتفاعه ، ويتضح ذلك من خلال العديد من الأمثلة منها مئذنة مدرسة صرغتمش ، لوحة رقم (١٠) ومئذنتا جامع مدرسة الأمير شيخو الناصرى ، لوحة رقم (١١) ومئذنة جامع الطنبغا المارادانى ، روحة رقم (٢١) ومئذنة جامع قايتباى بالصحراء ، لوحة رقم (٢٢) ، ومئذنة مدرسة السلطان برقوق بالنحاسين ، لوحة رقم (٢٣) ، ومئذنة مدرسة السلطان حسن ، صورة رقم (١) وغيرها ، ولذلك نجد أن المئذنة لن تختلف فى قمتها عن الشكل المكون من ثمانية أعمدة تحمل جزء مشكل على هيئة غطاء قلة الشرب ، وقد تم تصميمه على هذا الأساس ، ونجد أنه من الأفضل فى هذه الحالة أن تتم عمليات العلاج والترميم والصيانة المختلفة للمئذنة وتأهيل وتنسيق الوسط البيئى المحيط بها ، وإذا لم يتم العثور بشكل قاطع على دليل مادى يدلنا على

---

(١) الميثاق الدولى لصيانة وترميم النصب والمواقع الأثرية ( مقررات مؤتمر البندقية ، فينسيا ) ، عام ١٩٦٤ ، مادة (١٢)

(٢) مبادئ لاهور لصيانة الآثار الإسلامية ، باكستان ، ١٩٨٠م ، مادة (١٣)

(٣) توصيات بشأن صيانة المناطق التاريخية ودورها فى الحياة المعاصرة ، اليونسكو ، نيروبى ، ١٩٦م٧ ، توصية رقم (٢٣)

(٤)الميثاق الدولى لصيانة وترميم النصب والمواقع الأثرية ( مقررات مؤتمر البندقية ، فينسيا ) ، عام ١٩٦٤ ، مادة (١١)

الشكل الأصلى للمئذنة نكون أمام أحد إقتراحين ، إما ترك المئذنة دون استكمال قمتها ، أو استكمال الجوسق وقمة المئذنة طبقا للدراسة التى تم إجراؤها والتصميم الذى تم إعداده طبقاً للطراز الأثرى والمعمارى المملوكى للمئذنة والذى يتناسب معها إلى حد كبير فى تصميمه ونسبه المعمارية ، وقد تم توضيح هذين الاقتراحين للشكل النهائى للمئذنة بعد عمليات العلاج والترميم والصيانة بدون استكمال الجوسق فى اللوحتين رقمى (٦٦)،(٦٨) ، وفى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة فى اللوحات أرقام (٦١)،(٦٣)،(٦٤)،(٦٥)،(٦٧) ويرى الباحث استكمال الجوسق وقمة المئذنة لاستعادة قيمتها الفنية والأثرية وكذلك هذا الحل أفضل من الناحية الإنشائية حيث تتلاشى إجهادات الشد للمئذنة .

## ٢) عمل سلم للوصول إلى باب المئذنة

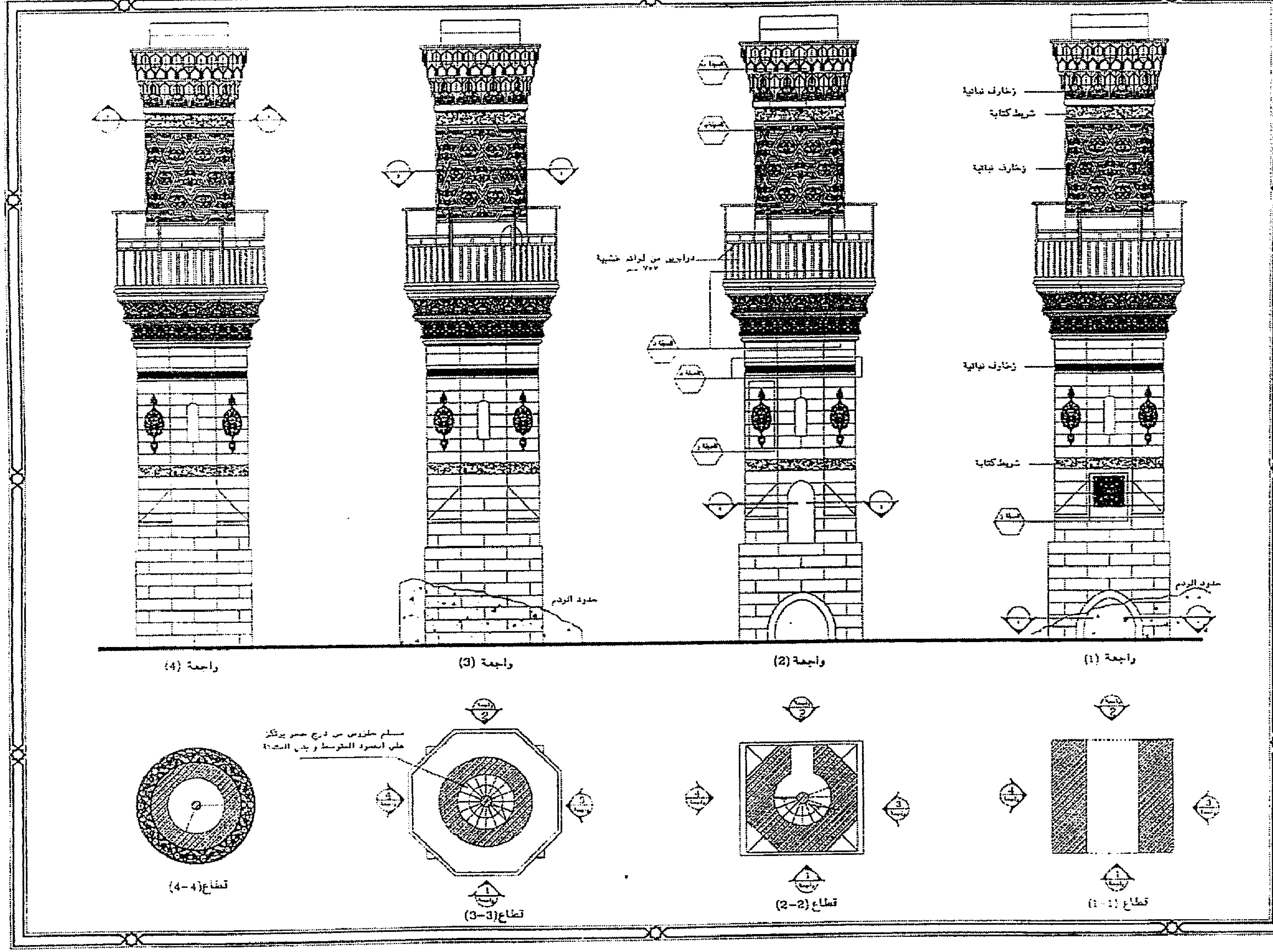
لا توجد أية شواهد على وجود سلم خارجى للمئذنة يصل إلى باب المئذنة ولكن من خلال المصادر التاريخية والأثرية تبين أنه كان يتم الوصول إلى باب المئذنة بواسطة قنطرة حديدية كانت موضوعه بشكل مائل وتصل بين منسوبي الأرض وباب المئذنة وقد تم تثبيتها بإزالة بعض الكتل الحجرية من أسفل باب المئذنة وهذه القنطرة الحديدية غير موجودة الآن ، لذلك تطلبت الضرورة إيجاد وسيلة للصعود إلى باب المئذنة المرتفع عن منسوب الأرض وتم حل هذه المشكلة عن طريق تصميم سلم خارجي يبدأ من الجهة الجنوبية الشرقية بحيث لا يراه الزائر للمئذنة وفى نفس الوقت يكون بعيدا عن الساباط ( الممر النافذ أسفل المئذنة ) والموجود بمنطقة قاعدة المئذنة والذى يمتد فى الاتجاه ( شمال شرق- جنوب غرب ) وهو بذلك لن يعوق الحركة من خلال الممر ويلتف هذا السلم المضاف حول البدن من الخارج وينتهى عند باب المئذنة مع مراعاة أن تصميم السلم تم بحيث لا يكون مثبتا فى بدن المئذنة ومستقلا بذاته بجوار المئذنة وحتى لا يظن الزائر أن هذا السلم المضاف أثريا وينتمى إلى التكوين المعماري الأصلي للمئذنة وبذلك نكون قد وقعنا فى خطأ التزوير لذلك فقد تم استبعاد أن يتم عمل هذا السلم من الحجر ويفضل عملة من الحديد غير القابل للصدأ بحيث يتكون من درجات صاعدة ترتكز على ركائز معدنية ويحاط بسياج معدنى بسيط يتلائم مع الشكل المعمارى للمئذنة ويتم دهانه بلون مقارب للون أحجار المئذنة وتظهر حالة المئذنة قبل إزالة طبقات الردم وبعد إزالة طبقات الردم وكذلك تصميم السلم الخاص بالمئذنة من خلال الأشكال أرقام (٧٩) ، (٨٠) ، (٨١) .

## ٣) استكمال بعض كتل الاحجار المفقودة أسفل باب المئذنة

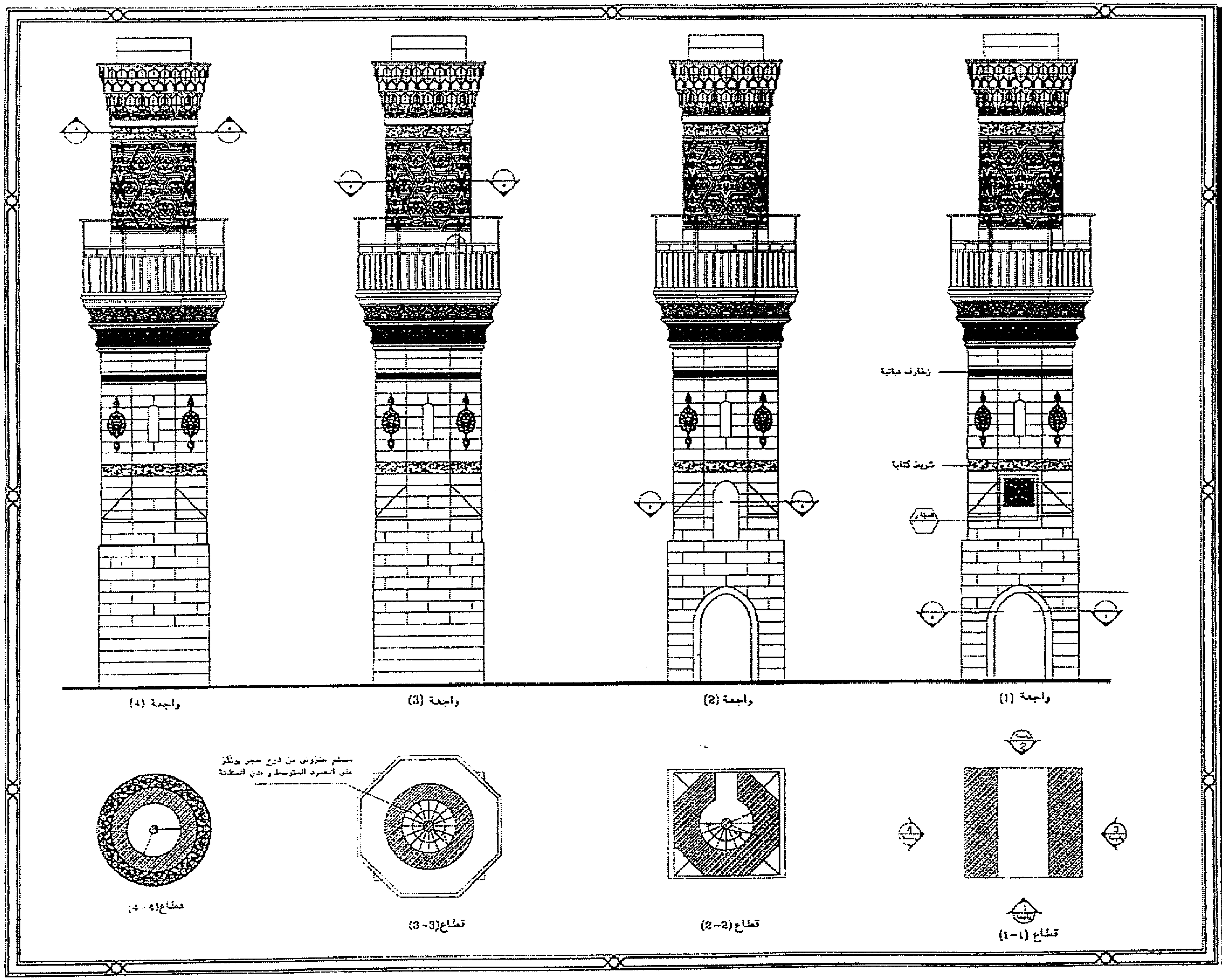
توجد بعض الكتل المفقودة اسفل باب المئذنة حيث تم إزالتها لتركيب القنطرة الحديدية التى كانت تؤدى إلى باب المئذنة ويجب أن يتم استكمال هذه الكتل المفقودة بكتل حجرية جديدة تتميز بخواص فيزيائية وميكانيكية جيدة حيث يتم إعدادها بالأبعاد الأصلية وتثبيتها فى أماكنها باستخدام المونة المناسبة وهى المونة رقم (٧) والتى أعطت أفضل النتائج فى الجانب التجريبى المعملى من الرسالة من حيث الخواص الفيزيائية والميكانيكية وهى تتكون من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ٣:٢:١ على الترتيب على أن يتم ملئ الفواصل بين كتل الأحجار وأنهائها بشكل جيد .

## ٤) استبدال بعض كتل الاحجار التالفة والمتآكلة من قاعدة المئذنة

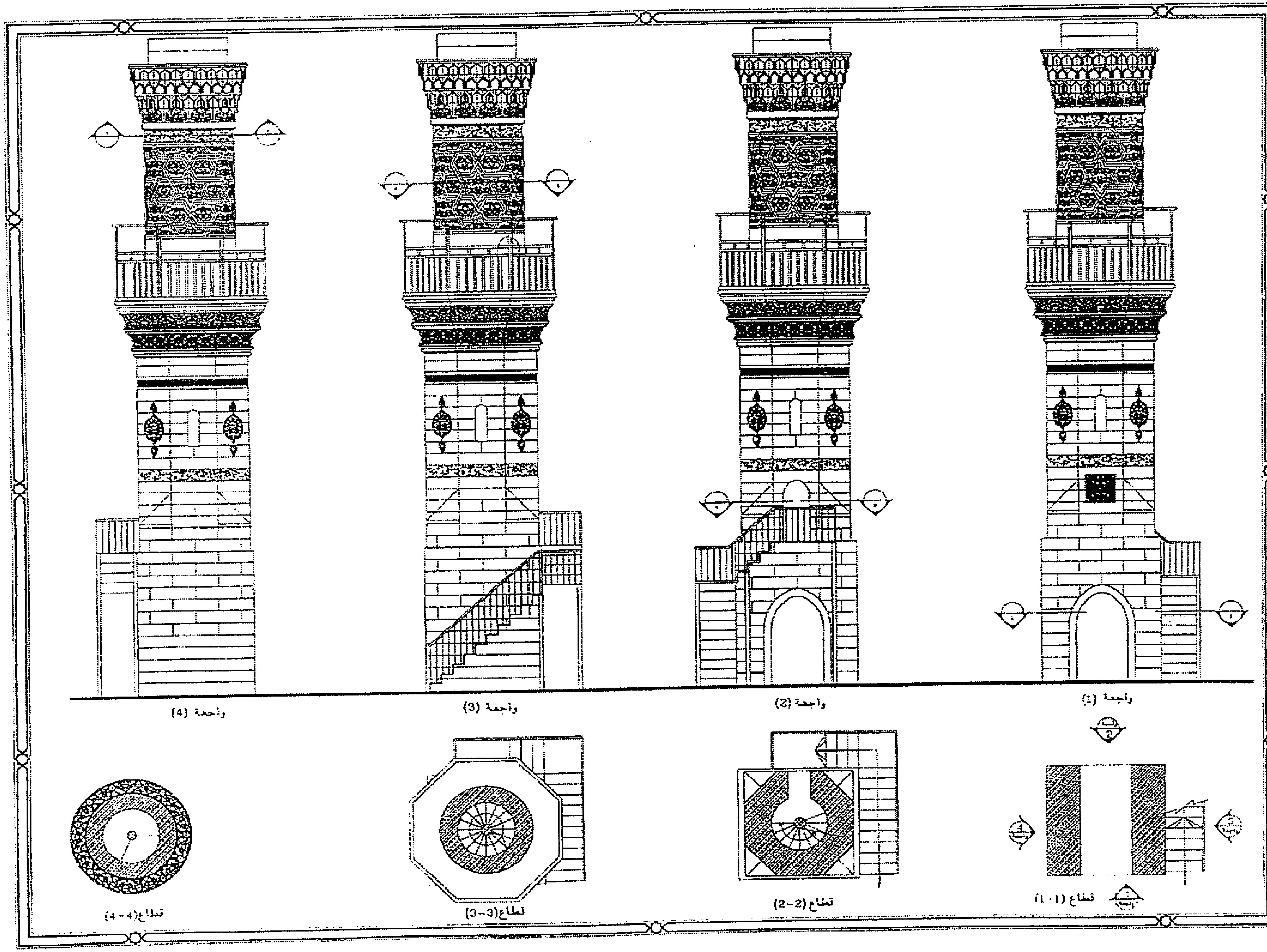
نظراً لأن طبقات الردم كانت تخفى بعض من مداميك الأحجار الموجودة فى قاعدة المئذنة فقد تعرض بعض من كتل الأحجار إلى التآكل ووجود شروخ نافذة وتفكك فى هذه الكتل وبالتالى ضعفها إنشائياً مما يستوجب




شكل رقـــم (٧٩) يوضح حالة مئذنة يشبك من مـــهدى قبل إزالة طبقـــات الردم .




شكل رقم (٨٠) يوضح مئذنة يشبك من مهدى بعد إزالة طبقات الردم وإظهار الممر النافذ ذو السقف المقبى بقاعدة المئذنة والوصول إلى المنسوب الأصلى للمئذنة .
(عمل الباحث)




شكل رقم (٨١)
يوضح مئذنة يشبك من مهدى بعد الاستكمال المقترح لسلم الصعود إلى باب المئذنة .
(عمل الباحث)

استبدال هذه الكتل من الأحجار بأخرى جديدة على أن تتميز خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة وبنفس مقاسات وأبعاد الكتل الحجرية القديمة وذلك لتأمين المئذنة إنشائياً ، ويتضح من خلال الصورتين رقمي (١٤٢)،(١٤٣) بعض كتل الأحجار المتآكلة والتي تحتاج إلى عملية استبدال.

## ثالثاً : أعمال الترميم الدقيق لمئذنة يشبك من مهدى

من خلال عمليات التسجيل والتوثيق الفوتوغرافي والمعماري لمظاهر التلف بالمئذنة إتضح وجود مظاهر تلف مختلفة أهما وجود تكلسات من الأتربة وبلورات الأملاح على الأسطح الخارجية بالإضافة إلى وجود طبقات كثيفة من السناج وتآكل وتفتت بعض الكتل الحجرية و وجود بقع ألوان وشحوم خاصة في منطقة قاعد المئذنة مع تلف المونة الموجودة في الفواصل (العراميس) بين كتل الأحجار ، ومن أكثر المناطق تلفاً بالمئذنة الواجهة الشمالية الغربية لقاعدة المئذنة كما يتضح من الصور أرقام (١٤٦)،(١٤٧)،(١٤٨)،(١٤٩) اشتملت أعمال الترميم الدقيق لمئذنة يشبك من مهدى على العديد من العمليات وهي عملية التنظيف لإزالة التكلسات والعوالق والبلورات الملحية والسناج والبقع المختلفة وعمليات العزل الأفقي لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة وعملية استخلاص الأملاح وتكحيل (ملء) العراميس بين المداميك الحجرية ثم عملية العزل الرأسي للأسطح الحجرية للمئذنة لحمايتها من مصادر الرطوبة وصيانتها من التلف مرة أخرى ، وقد تم تنفيذ عمليات الترميم الدقيق في ثلاثة مناطق من المئذنة وهي :

**أ) الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة .**

**ب) الواجهة الجنوبية الغربية من قاعدة المئذنة .**

**ج) الممر النافذ ذو السقف المقبي في منطقة قاعدة المئذنة . وفيما يلي هذه العمليات.**

### ١) عملية التنظيف للأسطح الحجرية للمئذنة

### أ- إزالة التكلسات والأملاح المتبلورة على السطح

تم خلال هذه العملية إزالة التكلسات والعوالق والأتربة والأملاح المتبلورة على السطح ميكانيكياً باستخدام الفرر المعدنية والمشارط ذات اليد الثابتة وذات اليد المتحركة والفرش الناعمة والمتدرجة في الخشونة ذات الألياف الصناعية مع استبعاد الفرش السلك التي تسبب خدش أسطح الأحجار[1] وقد تم تطبيق عملية التنظيف الميكانيكي لجميع العوالق الموجودة على سطح المئذنة من أملاح متبلورة وتكلسات في قاعدة المئذنة في الأوجه الشمالي الشرقي والشمالي الغربي والجنوبي الغربي كما يتضح من الصورتين رقمي (١٥٠)،(١٥١) كما تمت إزالة بعض الأملاح غير القابلة للذوبان في الماء مثل ملح الجبس $CaSO_4.2H_2O$ باستخدام حمض الأسيتيك (تركيز ٣%) ومركب الإيثيلين ثنائي أمين رباعي حمض الأسيتيك (EDTA) كما يتضح من الصورة رقم (١٥٢).

---

(1) Fassina, V.: General Criteria For The Cleaning Of Stone : Theoretical Aspects And Methodology Of Application, In : Stone Material In Monuments : Diagnosis And Conservation , Second Course, Crete, May, 1993, P.126.

## ب- إزالة طبقات السناج

تعانى مئذنة يشبك من مهدى من مظهر التلف المتمثل فى وجود طبقات كثيفة من السناج خاصة فى منطقة قاعدة المئذنة والممر المقبى النافذ الموجود فيها وقد تم إجراء عمليات التنظيف وإزالة السناج من هذه المناطق باستخدام أسلوبين هما :-

**الأسلوب الأول** : طبقاً لنتائج الجانب التجريبى للرسالة لإزالة طبقات السناج من أعلى أسطح الأحجار فقد تم استخدام محلولين طبقاً لاستجابة الأجزاء الحاملة للسناج لهما وهما المحلول(A) والمكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والاسيتون والتراى كلورو إيثيلين بالنسب ١:٢ :١:٢ على الترتيب . كما تم استخدام المحلول(D) والمكون من الطولوين والأسيتون بنسبة ١:٢ على الترتيب وذلك فى الأجزاء الضعيفة المتآكلة الأسطح وقد أعطت هذه المحاليل نتيجة جيدة فى إزالة طبقات السناج من على السطح الحجرى لقاعدة المئذنة بشكل كامل كما يتضح من الصور أرقام (١٥٦)،(١٦٣)،(١٦٤) وقد تم التنظيف بشكل موضعى أو عن طريق كمادة من القطن ، كما توضح الصورة رقم (١٦٧) جزء أخر من داخل الممر النافذ المقبى أسفل المئذنة والذى تعلوه طبقات كثيفة من السناج وتوضح الصورتان رقمى (١٦٨)،(١٦٩) نفس الجزء السابق بعد عمليات التنظيف الكيميائى وإزالة السناج .

**الأسلوب الثانى** : تم إتباعه مع الأجزاء القوية من سطح قاعدة المئذنة والذى يتميز بوجود طبقات كثيفة من السناج يصعب إزالتها بالمحلولين السابقين ولذلك تم الاستعانة بما تم التوصل إليه خلال الجانب التجريبى لإزالة السناج بالرسالة من نجاح كمادة مورا Mora Poultice فى إزالة طبقات السناج الكثيفة من فوق أسطح الأحجار وتم التنظيف كالتالى:

### أولاً : إعداد الكمادة بمكوناتها المختلفة

تتكون كمادة مورا من مجموعة من المكونات بنسب معينة[1] وتم إعدادها وهى كالتالى :-

٦٠ جرام بيكربونات أمونيوم

٦٠ جرام بيكربونات صوديوم

٢٥ جرام Ethylene Di – Amine Tetra- Actetic Acid) EDTA)

١٠ جرام سيتافلون Cetavlon (مضاد فطرى )

٦٠ جرام كربوكسى ميثيل سليولوز

وتذاب هذه المكونات فى ١ لتر ماء وقد تم إعداد كميات كافية من هذه المكونات للقيام بأعمال تنظيف وإزالة السناج من على أسطح الأحجار بقاعدة المئذنة .

### ثانياً : تطبيق الكمادة على سطح المئذنة

بعد أن تم إجراء عملية خلط جيد لمكونات الكمادة وإذابتها فى ١ لتر ماء نقى دافئ أصبحت معدة للتطبيق على سطح المئذنة وقد تم تطبيق هذه الكمادة ذات القوام الجيلاتى ودرجة حموضة PH = ٧,٥ على سطح

---

( 1) Ashurst, J.: Cleaning And Surface Repair , In : Conservation Of Historic Stone Buildings And Monuments , National Press, Washington D.C., 1982, P.278.

المئذنة حيث تم ترطيب الأسطح المراد تنظيفها وإزالة السناج منها بواسطة فرشاة ناعمة مبللة بالماء ثـم تـم فرد الكمادة على السطح بالاستعانة بمسطرين معدنى صغير وسكينة بالته للأجزاء الغائرة [1] وقد تم فردهـا على الأسطح القوية من الأجزاء المراد إزالة طبقة السناج منها دون الأجزاء الضعيفة وذلك بسمك تراوح من ٣-٤ مم كما يتضح من الصورة رقم (١٥٤) وبعد تطبيق الكمادة وفردها على السطح تم تغطيتها على الفـور باستخدام رقائق البولى إيثيلين وذلك حتى لا تتعرض للجفاف كما يتضح من خلال الصورة رقم (١٥٥) وتـم تركها على السطح لمدة ٢٤ ساعة ثم تم إزالتها ميكانيكياً باستخدام سكينة البالته[2] ، وقـد وجـدت أجـزاء صغيرة تحتاج إلى إجراء عملية تنظيف موضعى حيث تبقى بها بعض بقايا طبقة السناج وتم تنظيفها موضعيـاً باستخدام المحلول (A) المكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والأسيتون و الترای کلورو إيثيلـين بالنسـب ١:٢ :١:٢ على الترتيب لإزالة هذه البقايا وتوضح الصور أرقام (١٥٧)،(١٥٨)،(١٥٩)،(١٦٠) جزء مـن الواجهة الجنوبية الغربية من قاعدة المئذنة أثناء تطبيق كمادة مورا عليها لإزالة السناج ، وتوضح الصورتـان رقمى (١٦١)،(١٦٢) نفس الجزء بعد عمليات التنظيف كما توضح الصورتان رقمى (١٧٣)،(١٧٤) إعـادة تطبيق كمادة مورا على بعض المناطق التى توجد بها بقايا من طبقة السناج.

## جـ - تنظيف وإزالة بقع الزيت والالوان والشحم

توجد على سطح المئذنة فى منطقة قاعدة المئذنة بقع زيت وشحم وألوان وقد تم إزالتها موضعياً بثلاثة محاليل مختلفة حسب حالة البقعة من حيث كثافتها وسمكها ومدى توغلها داخل السطح والتصاقها به حيث تم استخدام محلول مكون من خليط من اسيتات الأميل Amyl Actate والأسيتون Acetone بنسبة ١:٣ كما تم استخدام محلول من الترای كلـورو إيثيلـين وكذلـك محلـول الزايليـن X ylene [3] وتوضـح الصـور أرقـام (١٩١)،(١٩٢)،(١٩٣) عملية إزالة بقع الزيت والشحم من على سطح قاعدة المئذنة أما بقع الألوان فتم إزالتها باستخدام محلول كلوريد الميثيلين وكذلك محلول داى ميثيل فورماميد بشكل موضعى باستخدام القطن والفـرر المعدنية[4] وتوضح الصورة رقم (١٥٣) عملية إزالة بقع الألوان من على سطح المئذنة بواسـطة المحـاليل وتوضح الصورتان رقمى (٢٠٦)،(٢٠٧) الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة بعد تنظيفها مـن بقـع الزيت والشحم والألوان .

## (٢) خطة للعزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة

تعتبر عملية العزل الأفقى ضد الرطوبة لجدران المئذنة من العمليات الهامة حيث أن المئذنة مقامـة بشـكل مباشر فوق التربة وهذه التربة بها بنسبة من الرطوبة نتيجة تسرب مياه الصرف الصحى من المساكن

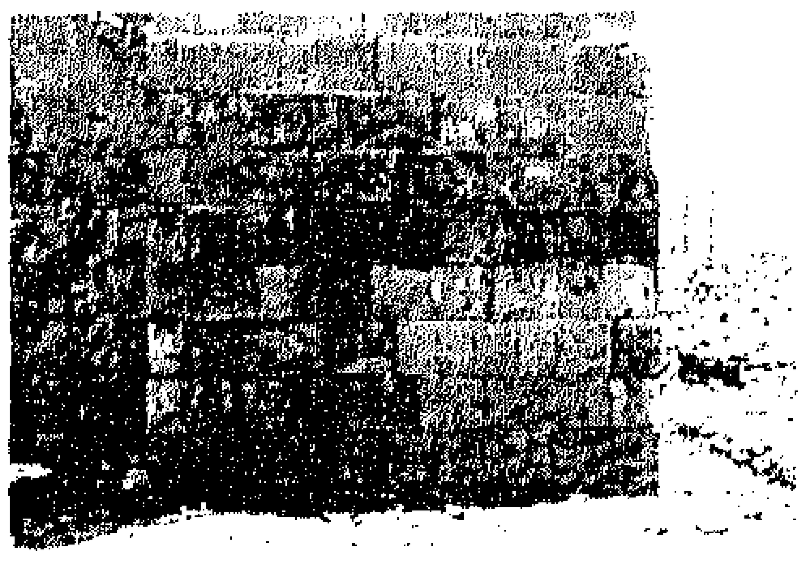
---

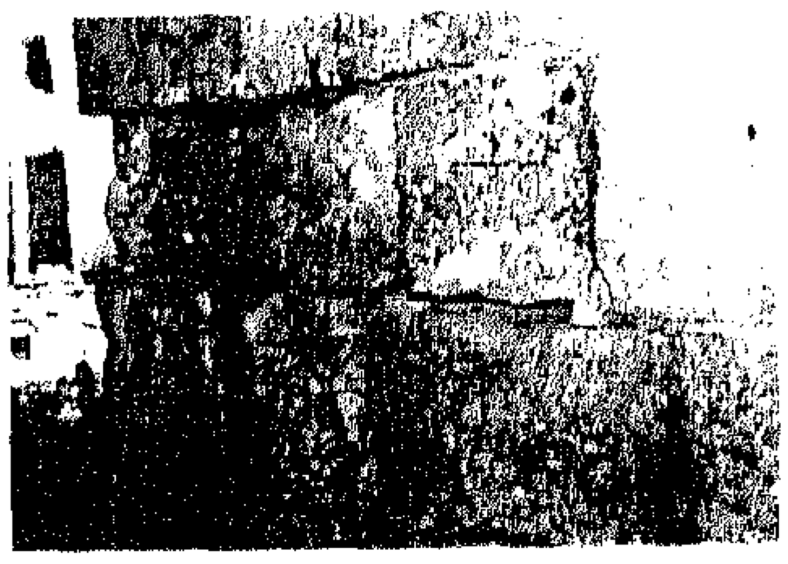
(1) Clarke, B.L.: Some Recent Research On Cleaning External Masonry In Great Britian, In: The Treatment Of Stone, Bologna, 1982,P.14.

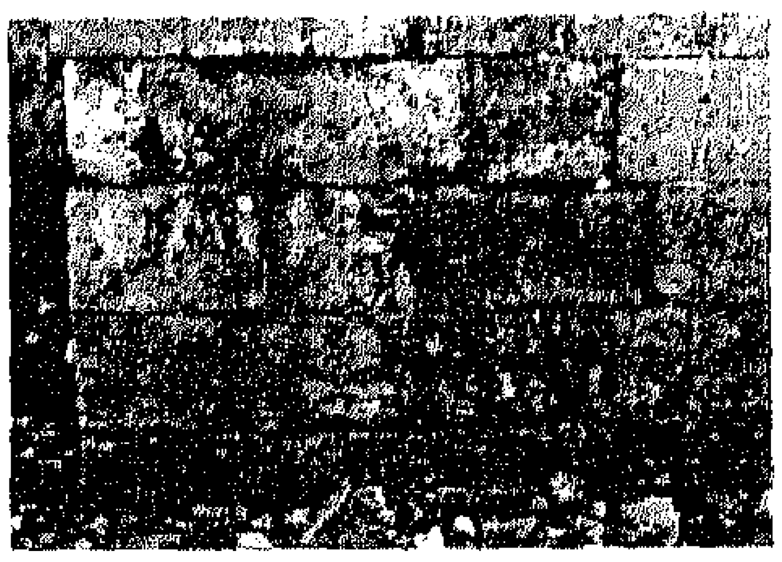
(2) Fitzmaurice, J: The Care Antiques, Arlington Books, London, 1980,P.49.

(3) Ashurst, J.: Cleaning And Surface Repair , In : Conservation Of Historic Stone Buildings And Monuments , National Press, Washington D.C., 1982,P.278.

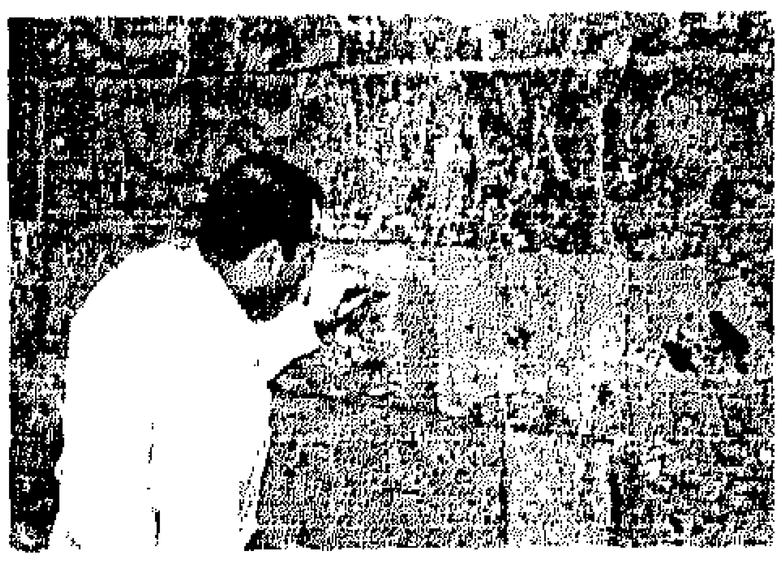
(4) Fassina, V.: General Criteria For The Cleaning Of Stone : Theoretical Aspects And Methodology Of Application, In : Stone Material In Monuments : Diagnosis And Conservation , Second Course, Crete, May, 1993,P.128.


صورة رقم (١٤٦)

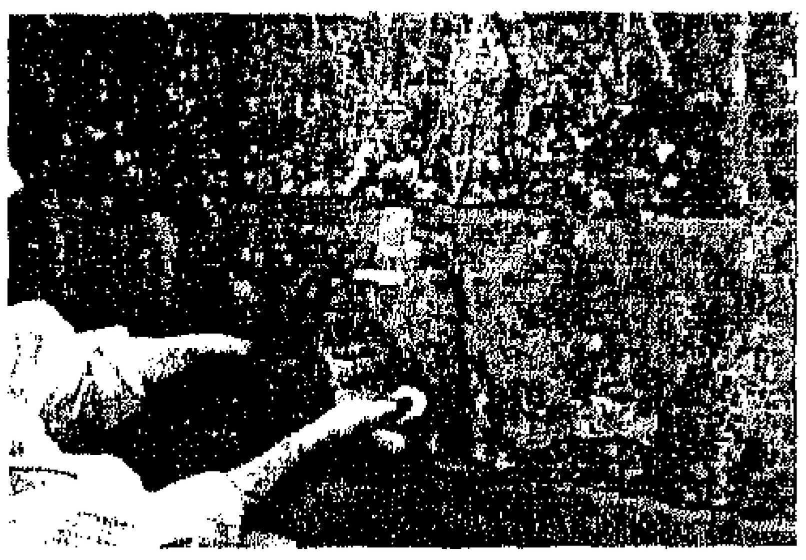

صورة رقم (١٤٧)


صورة رقم (١٤٨)

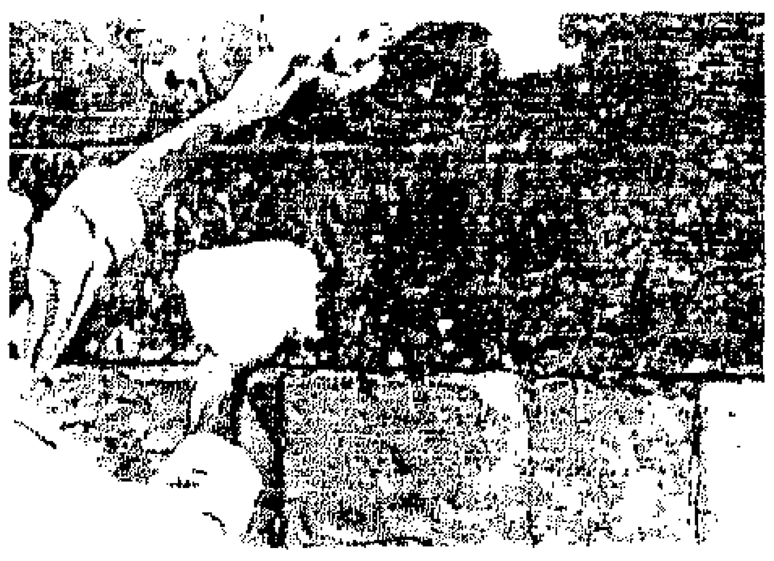
صورة رقم (١٤٩)

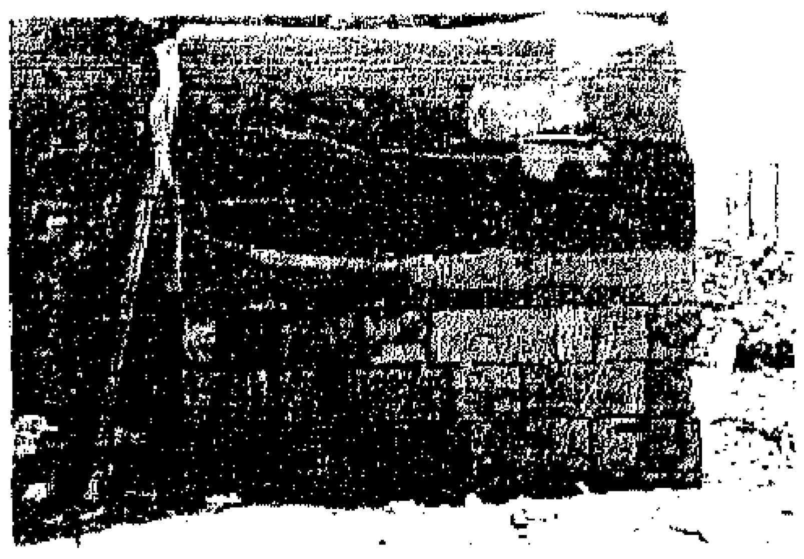

صورة رقم (١٥٠)

صورة رقم (١٥١)


صورة رقم (١٥٢)

صورة رقم (١٥٣)


صورة رقم (١٥٤)

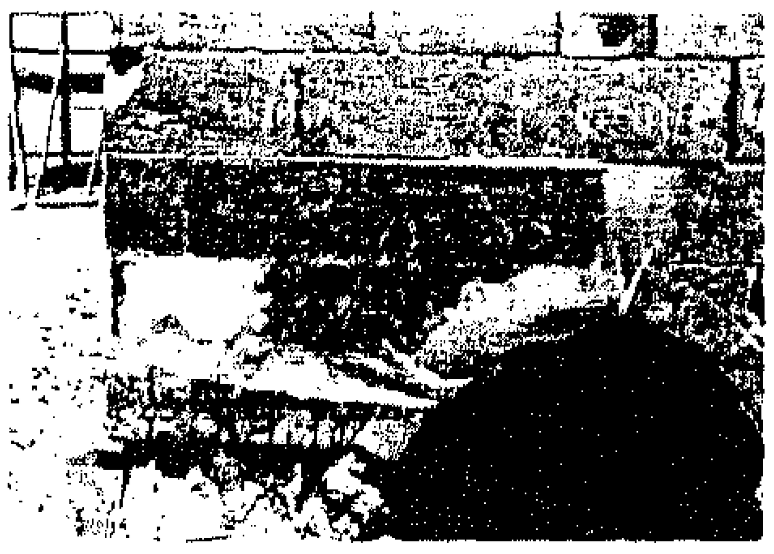

صورة رقم (١٥٥)

صورة رقم (١٥٦)

صورة رقم (١٥٧ )

صورة رقم (١٥٨)

صورة رقم (١٥٩)


صورة رقم (١٦٠)

الصور من رقم (١٤٦) إلى رقم (١٤٩) توضح حالة الجدار الشمالى الغربى من قاعدة المئذنة .

الصور من رقم (١٥٠) إلى رقم (١٥٥) توضح عمليات التنظيف الميكانيكى والكيميائى للجدار .

الصور من رقم (١٥٦) إلى رقم (١٦٠) توضح التنظيف الكيميائى ثم تطبيق كمادة مورا على الجدار الجنوبى الغربى ثم تغطيتها برقائق البولى ايثيلين .

( تصوير الباحث )

العشوائية المحيطة بالمئذنة حيث لا يوجد نظام للصرف الصحى بالمنطقة بالإضافة إلى قرب المئذنة من منطقة عين الصيرة بما فيها من مياه وما تحتويه من أملاح وهذه الأملاح بمصادرها المختلفة توجد فى التربة على هيئة محاليل ملحية وتصعد هذه المحاليل من التربة داخل جدران المئذنة بواسطة الخاصية الشعرية مما أدى إلى ذوبان بعض مكونات أحجار منطقة قاعدة المئذنة وتآكل وتفتت بعض أجزاء الكتل الحجرية كما يؤدى تبلور الأملاح إلى حدوث ضغوط وإجهادات موضعية داخل مسام الأحجار وذلك خلال البنية الداخلية للأحجار أو على أسطح الأحجار أو أسفل الأسطح مباشرة [١] مما أدى إلى ظهور العديد من مظاهر التلف بفعل الرطوبة الموجودة فى التربة الحاملة للمئذنة ولذلك فقد كان من الضرورى عمل خطة لعملية العزل الأفقى لجدران المئذنة وذلك كالتالى .

## خطوات تنفيذ عملية العزل الأفقى لجدران المئذنة

طبقاً لنتائج الجانب التجريبى بالرسالة لتقييم كفاءة بعض البوليمرات فى عمليات التقوية والعزل لأحجار مئذنة يشبك من مهدى فقد تبين إمكانية استخدام مادة Wacker SMK550 حيث أعطت نتائج جيدة وأظهرت كفاءة عالية فى معالجة عينات الحجر الجيرى الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى وأتضح ذلك من خلال الانخفاض فى قيم امتصاص الماء والمسامية للعينات المعالجة ولذلك يمكن استخدام هذه المادة لإجراء عمليات العزل الأفقى لجدران مئذنة يشبك من مهدى وذلك من خلال الخطوات الآتية :-

١- بعد إزالة طبقات الردم وإظهار قاعدة المئذنة بشكل كامل يتم تحديد العرموس الأول فى أول مدماك حجرى من قاعدة المئذنة ويكون هو خط أو منسوب العزل الأفقى للمئذنة[٢] .

٢- يتم تثقيب الجدران ببنط ذات قطر من ٢٠ إلى ٢٥ مم بحيث لا تزيد المسافات البينية بين الثقوب عن ١٥سم ( المسافة بين محاور دوائر الثقوب ) وهذه المسافات بين الثقوب تقديرية حيث يجب الأخذ فى الاعتبار أن المسافات البينية الحقيقية فى الطبيعة تعتمد على مدى تشرب الحائط لمادة العزل الأفقى[٣] .

٣- يتم عمل الثقوب لكل جدار من جدران قاعدة المئذنة المربعة الأربعة بحيث يجب أن يكون عمق الثقب أكبر من ٩٠% من سمك الجدار حيث يجب أن يكون عمق الثقب أكبر ما يمكن حتى تستطيع مادة العزل الأفقى التوغل داخل الجدران بشكل كامل وعمل طبقة العزل الأفقى المطلوبة [٤] .

٤- تمهيداً لإجراء عملية الحقن يتم تركيب مواسير معدنية ذات أقطار مناسبة وأطوال مناسبة داخل الثقوب ليتم الحقن من خلالها على أن تكون مزودة بمحابس لكى يتم فتحها أثناء عملية الحقن ثم يتم إغلاقها بعد

---

( 1) Oliver, A.: Dampness In Buildings, B.S.P., Professional Books, Oxford, London, 1988,P.156.

( 2) Grissom, C.A., Weiss, N.R.: Alkoxy Silanes In The Conservation Of Art And Architecture : 1861-1981, Art And Archaeology Technical Abstracts, Vol.18,No.1,1981,P.25.

( 3) Ashurst, J.,And Ashurst, N.: Control Of Damp In Buildings In: Practical Building Conservation , Vol,1, Stone Masonary, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988,P.164.

( 4) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Guide Lines To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert Verlag, Germany, 2000,P.36.

ذلك بد انتهاء عملية الحقن لمنع تسرب مادة الحقن إلى الخارج على أن يتم تثبيت المواسير المعدنية من الخارج حتى انتهاء عملية العزل بواسطة خليط من الجير[١] ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ٢:١ .

٥- يتم الحقن تحت ضغط بواسطة كمبريسور هواء مزود بمؤشر لبيان وقياس الضغط المستخدم وخزان لوضع مادة العزل يغلق تحت ضغط ومزود بمؤشر أيضاً تتصل به مواسير بلاستيكية متعددة يتم وضع نهاياتها داخل الثقوب ويجب استخدام أقل ضغط ممكن يسمح لمادة العزل الأفقى بالسريان داخل المواسير البلاستيكية والانتشار داخل جدران المئذنة لعمل طبقة العزل الأفقى المطلوبة[٢] .

٦- يتم ملء الثقوب باستخدم مسحوق الحجر الجيرى مع الجير وقليل من الرمل الناعم النظيف على أن يوضع مسحوق الحجر الجيرى والجير فقط على السطح الحجرى ليتماثل تماماً مع أسطح الأحجار بالمئذنة وبذلك تكون قد تمت عملية العزل الأفقى للمئذنة عن مصادر الرطوبة.

## ٣) استخلاص الأملاح من جدران مئذنة يشبك من مهدى بواسطة الكمادات

طبقاً لما تم مناقشته خلال الباب الرابع من الرسالة الخاص بطرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية فقد تم اختيار طريقة الكمادات لاستخلاص الأملاح القابلة للذوبان فى الماء من جدران مئذنة يشبك من مهدى خاصة من منطقة القاعدة التى تعرضت للتفكك والتآكل بفعل تبلور الأملاح بكثافة بين حبيباتها وقد أتضح من خلال التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية لعينات من الأملاح من جدران مئذنة يشبك من مهدى أن الأملاح القابلة للذوبان توجد فى جدران مئذنة يشبك من مهدى وهى متمثلة فى ملح الهاليت Halite ( كلوريد الصوديوم NaCl ) ومن خلال التعرف على طرق استخدام الكمادات لاستخلاص الأملاح القابلة للذوبان فى الماء من الجدران الحجرية تم اختيار استخدام الكمادات الورقية لاستخلاص الأملاح وذلك نظراً لتآكل وتفكك بعض الأجزاء ووجود الكثير من المناطق الغائرة على الأسطح الحجرية للمئذنة والتى من الممكن أن يحدث لها تشوه لونى إذا ما تم استخدام كمادات معادن الطفلة التى من الممكن أن تتوغل بين مسام الأحجار وحبيباتها ويصعب إجراء عملية تنظيف وإزالة لها [٣] لذلك نجد أنه من الأمن استخدام الكمادات الورقية لاستخلاص الأملاح من هذه الأجزاء[٤] لذلك تم اختيارها مع الإشارة أن الكمادات من معادن الطفلة جيدة فى استخلاص الأملاح وتخفيض مناسيبها على الأسطح الحجرية فى حالة قوة هذه الأسطح وعدم تعرضها للتآكل الناتج عن التأثير الشديد لتبلور الأملاح بكثافة بين مكوناتها[٥] .

---

(1) Hans, D.D.: Protection And Cultural Animation Of Monuments, Sites And Historic Towns In Europe, German Commission For Unesco, Bonn, Vol.12,1980,P.92.

(2) Ashurst, J.,And Ashurst, N.: Control Of Damp In Buildings In: Practical Building Conservation , Vol,1, Stone Masonary, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988,P.165.

(3) Vitina, I., et al: Problems Of Soluble Salts In The Monuments Of Lativia, In: 8Th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996,P.477.

(4) Jedjeiwska, H.: Removal Of Soluble Salts From Stone, In: Conservation Of Stone 2nd Ed, Vol.1,IIC,1970,P.19.

(5) Bradley, S.M. And Hanna, S.B. ; The Effect Of Soluble Salt Movement On The Conservation Of An Egyptian Limestone Standing Figure, In : Conservation Of Stone, IIC. Bologna, 1986,P..59-63.

**تحضير كمادة الورق وأسلوب تطبيقها لاستخلاص الأملاح من مئذنة يشبك من مهدى**

يمكن استخدام العديد من أنواع الورق والأنسجة الورقية مثل ورق الترشيح والورق اليابانى وورق النشـــاف وقد تم اختيار نوع جيد من الورق حيث تم فصلة فى صورة رقائق وتم غمرها فى الماء المقطر لفترة وصلت إلى ٤٨ ساعة حيث بدأت هذه الرقائق فى التفكك ثم تم غليها فترة ساعتين حتى تحولت إلى ما يشبه المعلق[١] ثم تم تطبيقها على الأسطح الحجرية لقاعدة مئذنة يشبك من مهدى فى صورة طبقة بسمك بلغ حوالى ٨مم كما يتضح من الصورة رقم (١٧١) وتم تركها على السطح لفترة ٤٨ ساعة حيث بدأت الأملاح خلال هذه الفـترة فى التبلور على السطح الخارجى للكمادة حيث نجد أن طريقة استخلاص الأملاح بالكمادة تعتمد على خاصيـة الامتصاص العالية للأنسجة الورقية المستخدمة حيث يتحرك الماء الموجود فى الكمادة الورقية فى البداية طبقا للقوى المؤثرة فى حركته من الكمادة إلى داخل الجدران الحجرية لمئذنة يشبك من مـــهدى طبقـا لخاصيـة الانتشار وعند انخفاض معدل المياه الموجودة فى الكمادة عنها فى الجدران الحجرية بحيث يصبـــح معدلـــها أعلى داخل جدران المئذنة ينعكس اتجاه حركة الماء لتصبح من داخل جدران المئذنة إلى الكمادة فى صـــورة محلول ملحى حيث تترسب الأملاح على سطح الكمادة بعد جفافها [٢] وبذلك تم استخلاص الأملاح من داخـل جدران المئذنة من منطقة القاعدة وقد تم تكرار هذه المعالجة عدة مرات حيث يؤدى تكـرار المعالجـة إلـى تخفيض معدل الأملاح الموجودة داخل جدران المئذنة إلـــى أدنـــى مســـتوى[٣] وتوضـــح الصـــور أرقـــام (١٧٠)،(١٧١)،(١٧٢) عملية استخلاص الأملاح من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة.

**٤) عمليات التقوية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى**

من خلال الدراسة التجريبية بالرسالة أتضح أن مركب Tetra Ethoxy Silane قد أعطى أفضـــل النتـــائج لتقوية الأحجار الجيرية الخاصـــة بمئذنـــة يشـــبك مـــن مـــهدى يليـــه مركـــب Silo111 ثـــم مركـــب Poly Methyl Hydro Siloxane وذلك من حيث نسبة الزيادة فى قوة تحمل الضغط وقوة تحمـــل الشـــد للعينات المعالجة ولذلك فإن أنسب المركبات وأفضلها لتقوية أحجار مئذنة يشبك مـــن مـــهدى هـــو مركـــب Tetra Ethoxy Silane (Ethyl Silicate) .

**استخدام مركب Ethyl Silicate (Wacker OH100) لتقوية أحجار المئذنة**

تم استخدام مركب Wacker OH100 لتقوية أحجار منطقة قاعدة المئذنة حيـــث أن الأســـطح الخارجيـــة للأحجار فى منطقة القاعدة قد تعرضت للتفكك والتآكل والانفصال على هيئة قشور وطبقات بفعل تأثير عوامل التلف المختلفة عليها وأهمها تبلور الأملاح بين حبيبات هذه الأحجار والضغـــوط الموضعيـــة و الإجـــهادات

---

(1) Ashurst J. And Ashurst, N.: Practical Building Conservation, Vol.1, Stone Masonary, English Heritage Technical Hand Book, 1988,P.134.

(2) Jedjeijwska, H. : Removal Of Soluble Salts From Stone, In : Conservation Of Stone, 2an Edition , Vol,1, IIC, 1970,PP.19-33.

(3) Vitina, I., et al: Problems Of Soluble Salts In The Monuments Of Lativia, In: 8Th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996,P.477.

الناشئة عنها[١] ولتنفيذ عملية التقوية للأحجار تم اختيار أكثر الأجزاء تلفاً لتطبيق عملية التقوية عليها وتم ذلك من خلال الخطوات الآتية :

١- تم تنظيف أحجار الواجهات الخارجية المراد تقويتها بقاعدة المئذنة من الأتربة والعوالق السطحية الموجودة كما سبق استخلاص الأملاح منها وذلك لإعداد هذه الأسطح لتطبيق التقوية[٢] بمركب Wacker OH100 .

٢- تم إعداد رشاشات من البلاستيك مزودة بمسدس رش تناسب التنفيذ على الأجزاء التى تم اختيارها من أحجار قاعدة المئذنة ، وتتم تقوية الأحجار بواسطة أسلوب الأنسياب Flooding على السطح بحيث تتدفق المادة على السطح ويتشبع الجدار بالكميات اللازمة كما تستطيع المادة التوغل والانتشار ببطء داخل جدران المئذنة مما يعطى نتيجة جيدة للتقوية[٣] ولا يستخدم أسلوب التقوية عن طريق رش المادة على هيئة رذاذ Spray ولا يسمح لها بالانسياب على السطح وبذلك لا تستطيع المادة تغطية الأسطح المعالجة بشكل كامل كما لا تأخذ الكمية والوقت اللازمين للتوغل والانتشار داخل عمق الأحجار المعالجة ، لذلك عند إجراء عمليات التقوية للأجزاء التى تم اختيارها من قاعدة المئذنة واستخدام رشاشات البلاستيك التى تخرج منها المادة على هيئة رذاذ كثيف تم مراعاه أن يتم رش كل منطقة بكمية مناسبة من المادة من أعلى إلى اسفل بحيث يسمح لها بالانسياب بكميات كافية على سطح الأجزاء المعالجة لكى نحصل على نتيجة جيدة من التغطية الكاملة للسطح والتوغل بعمق[٤] داخل جدران المئذنة كما يتضح من الصور أرقام (١٧٥)،(١٧٦)، (١٧٧)،(١٧٨)، ويتم امتصاص مادة التقوية من خلال مسام الأحجار بشكل طبيعى بواسطة الخاصية الشعرية The Stone's Capillary System .

٣- تم رش مادة Wacker OH100 بكميات مناسبة على أسطح المناطق المعالجة وتتوقف هذه الكمية على حالة الجزء المعالج وإن كانت بصفة عامة تتراوح ما بين ١,٥ إلى ٢ لتر/م٢ بحيث كان التطبيق يتم فى حدود فترة زمنية من ٢٠-٣٠ دقيقة وهى الفترة التى يحتاجها المتر المسطح بشكل عام لكى يتم إجراء عملية التقوية ويجب الا نتعدى هذه الفترة حتى لا تتعرض الطبقات السطحية المعرضة للجو الخارجى للجفاف قبل تمام عملية التقوية حيث قد يؤدى ذلك إلى عدم السماح بحرية بتوغل كميات أخرى من المادة داخل الأحجار المعالجة[٥] .

٤- خلال عملية تطبيق التقوية تم تغطية المنطقة التى تم رشها برقائق البلاستيك (البولى إيثيلين) وذلك حتى نعطى للمادة المقوية الوقت الكافى لكى تترسب فى المسام دون تبخر سريع للمذيب (الكحول الإيثيلى)

---

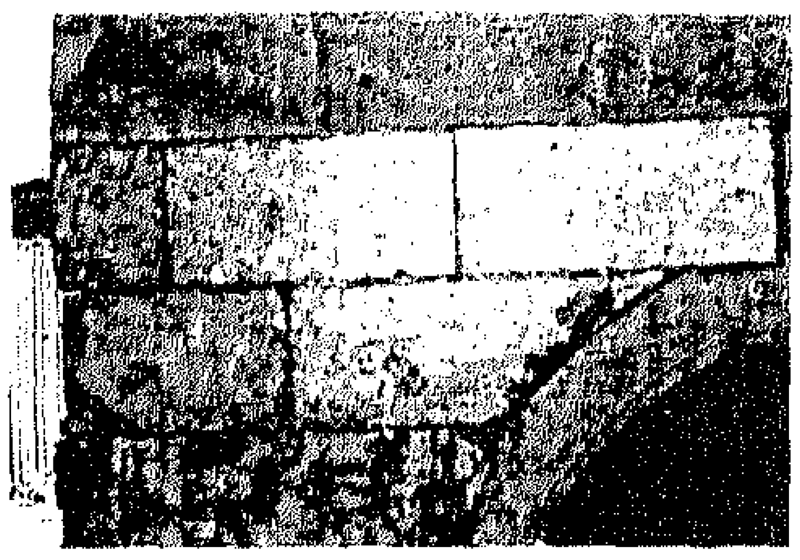
(1) Hristova, J. And Todorov, V.: Consolidation Effect Of Wacker Silicons On The Properties Of Sandy Limestone, In: 8th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996, Pp.1159-1201.

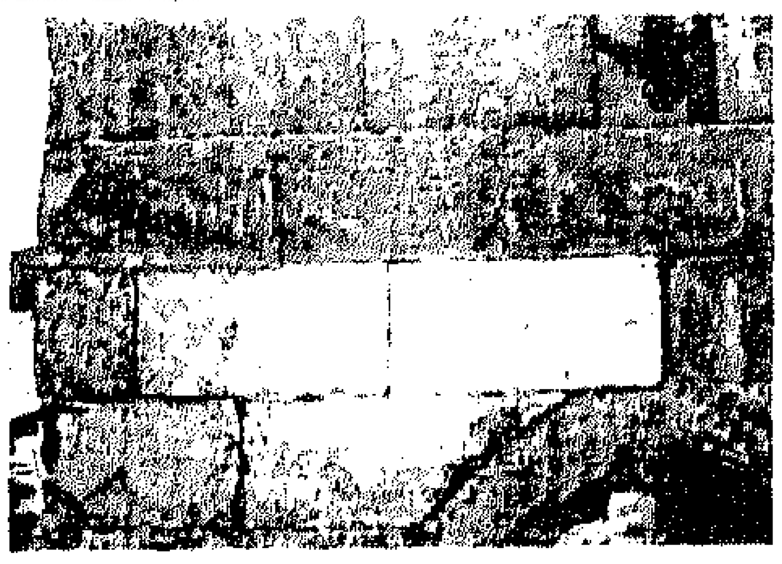
(2) Munnikendam, R.A.: Anew System For The Consolidation Of Fragile Stone, Studies In Conservation, No.18,1973,Pp.59-79.

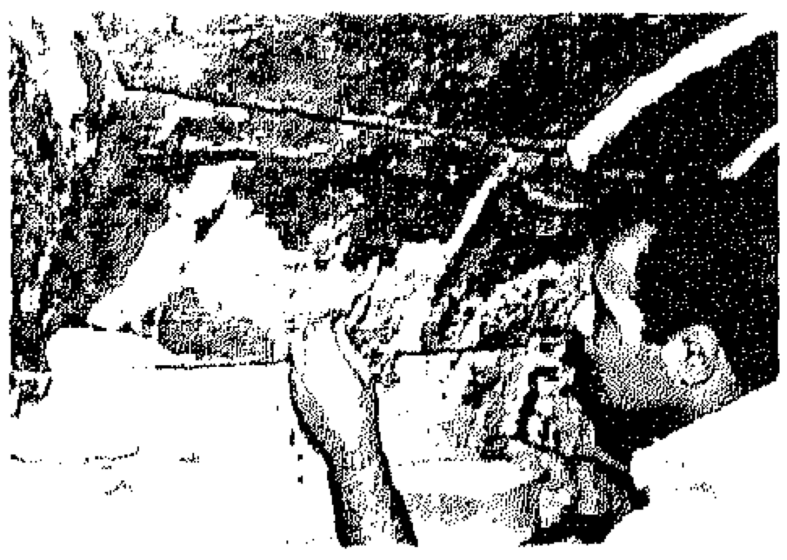
(3) Weber, H.: Conservation And Restoration Of Natural Stone In Europe, APT Conference In Toronto, 1984,P.8.

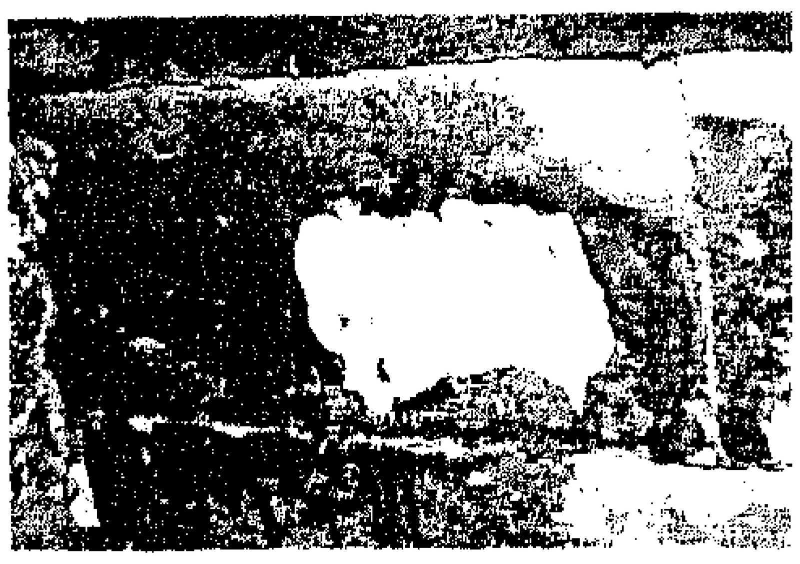
(4) Grissom, C.A., Weiss, N.R.: Alkoxy Silanes In The Conservation Of Art And Architecture : 1861-1981, Art And Archaeology Technical Abstracts, Vol.18,No.1,1981,P.23.

(5) Hristova, J. And Todorov, V.: Consolidation Effect Of Wacker Silicons On The Properties Of Sandy Limestone, In: 8th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996, Pp.1159-1201.


صورة رقم (١٦١)

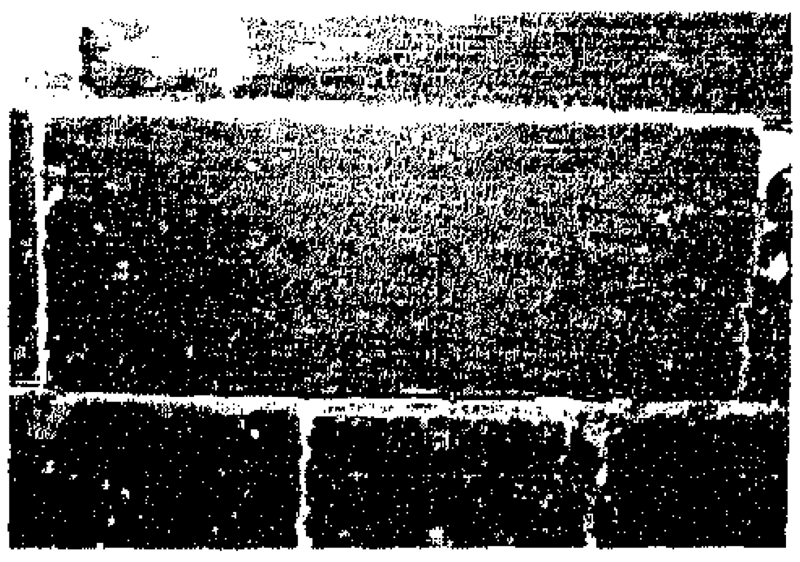

صورة رقم (١٦٢)

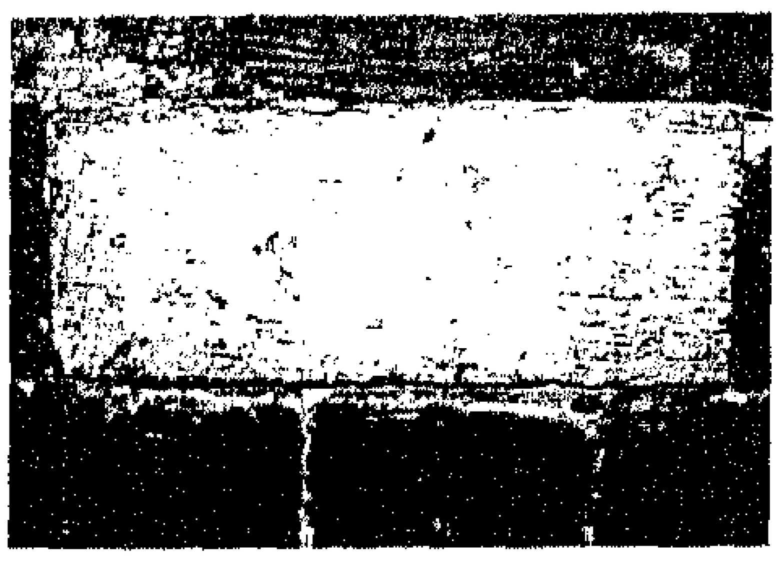

صورة رقم (١٦٣)

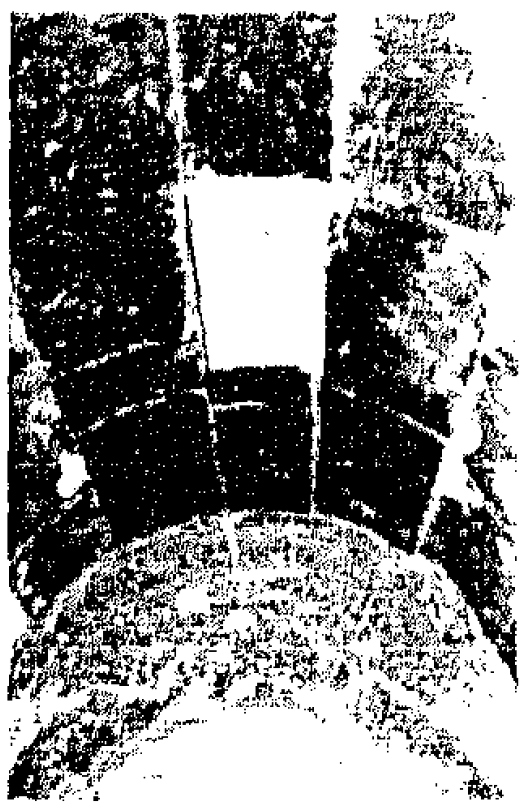

صورة رقم (١٦٤)

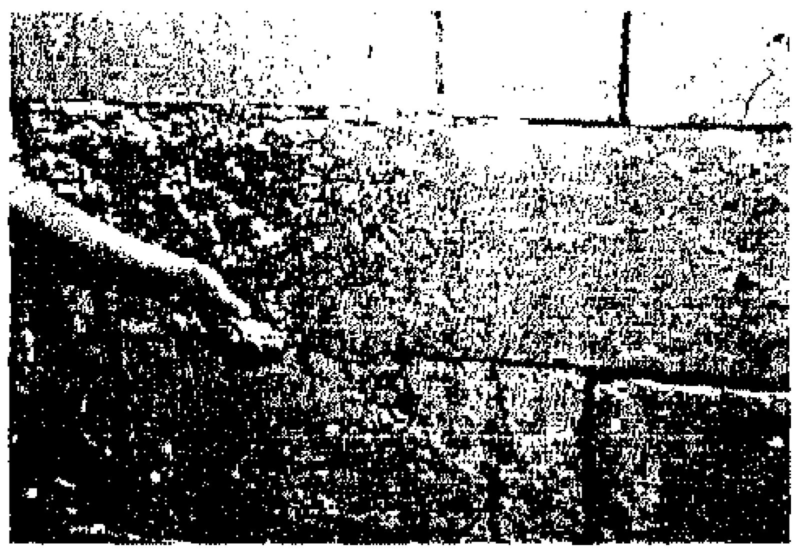
صورة رقم (١٦٥)

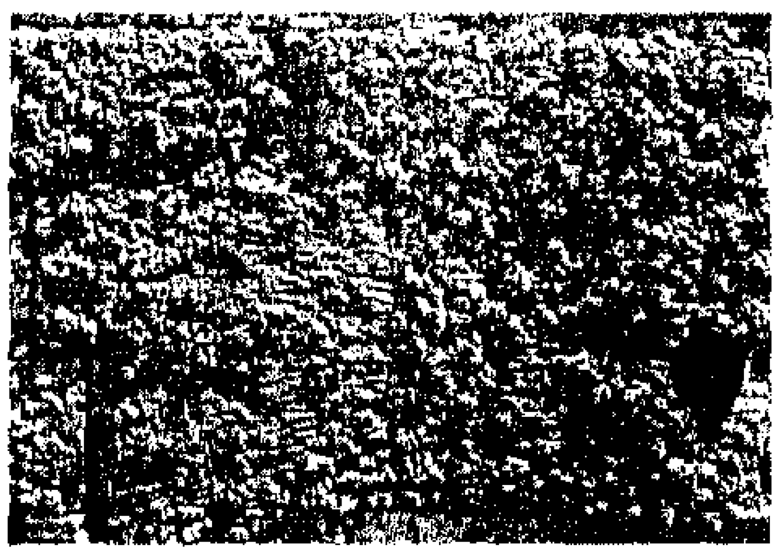
صورة رقم (١٦٦)

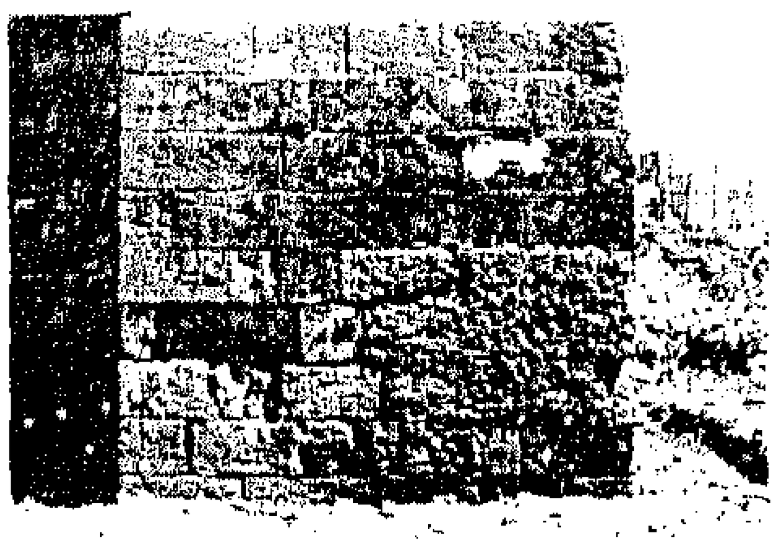

صورة رقم (١٦٧)


صورة رقم (١٦٨)

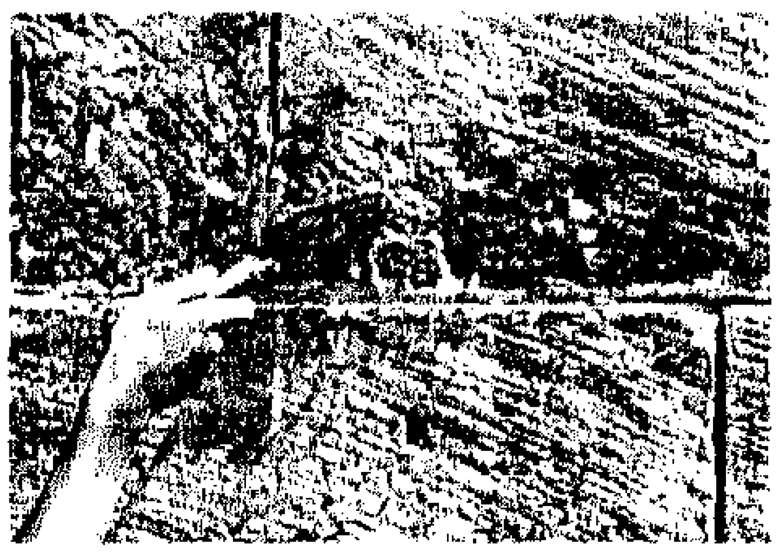

صورة رقم (١٦٩)

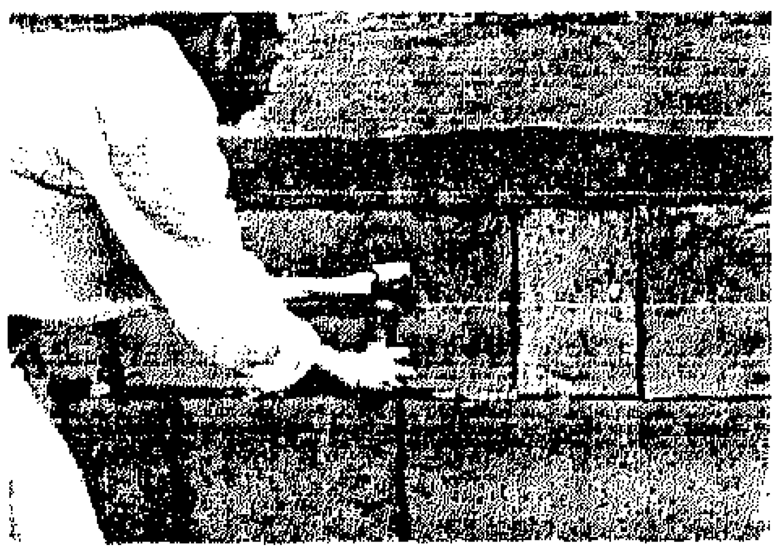

صورة رقم (١٧٠)


صورة رقم (١٧١)


صورة رقم (١٧٢)

صورة رقم (١٧٣)


صورة رقم (١٧٤)


صورة رقم (١٧٥)

الصورتان رقمى (١٦١) ، (١٦٢) توضح الجزء الذى تم تنظيفه من الجدار الجنوبى الغربى من قاعدة المئذنة .

الصور من رقم (١٦٣) إلى رقم (١٦٩) توضح عمليات التنظيف الكيميائى لجزء من الممر الموجود أسفل المئذنة .

الصور من رقم (١٧٠) إلى رقم (١٧٢) توضح عملية استخلاص الأملاح بواسطة الكمادات الورقية .

الصور من رقم (١٧٣) إلى رقم (١٧٥) توضح إعادة تطبيق كمادة مورا على بعض المناطق ثم عملية تقوية أحد الأجزاء باستخدام مادة سيليكات الإيثيل (الجدار الشمالى الغربى ).

( تصوير وعمل الباحث )

ولكى تنتشر وتتوغل بشكل جيد داخل المسام ، ويتضح ذلك من خلال الصورة رقم (١٧٩) ولابـد مـن تغطية السطح المعالج بشكل كامل لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة ويفضل تغطيتها لمدة ثلاثة أيام فـى حالـة وجود درجة حرارة مرتفعة(١) .

٥- يفضل القيام بعملية التقوية فى الصباح الباكر حيث تكون درجة الحرارة مناسبة لاستخدام مـادة التقويـة على أسطح الأحجار المعالجة(٢) لذلك تم تقوية المناطق المختارة من قاعدة المئذنة فى الصبـاح البـاكر للحصول على نتيجة جيدة لعملية التقوية .

٦- يعتمد الوقت الكافى الكلى اللازم لترسيب المادة وتبلورها داخل المسام والقيام بدورها فى تقوية أسـطح الأحجار المعالجة على الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة فى الجو المحيط وبشكل عام يتم ترسيب من ٩٠ إلى ٩٥ % من المادة داخل المسام فى خلال أسبوع من تطبيق المادة على الأسطح المعالجة .

٧- تم ترك الأسطح المعالجة لمدة ثلاثة أسابيع دون القيام بأى عمليات ترميم أخرى على الأسطح لكى تكون المادة قد تبلمرت داخل الأحجار المعالجة وقامت بالربط بين حبيباتها المفككة وتوضـح الصـورة رقـم (١٨٠) منطقة التى تم تقويتها من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة مئذنة يشبك من مهدى بواسطة مادة Wacker OH100 (Ethyl Silicate)

## (5) تنظيف وملئ اللحامات ( العراميس) الأفقية والراسية بين كتل الاحجار بالمئذنة

بسبب الرطوبة التى أدت إلى إذابة بعض مكونات مونات اللحامات ( العراميس) الأفقية والرأسية بيـن كتـل الأحجار بمئذنة يشبك من مهدى وبفعل تأثير تبلور الأملاح بين مكونات اللحامات مما أدى إلى تفككها وتأكلها وسقوط وفقدان أغلب هذه اللحامات ( العراميس) بين كتل الأحجار(٣) مما يسمح معه بتوغل مصادر الرطوبـة الجوية إلى داخل المئذنة مثل مياه الأمطار وبخار الماء والتكثف حيث تؤدى إلى حدوث المزيد مـن التلـف بفعل تنشيط التفاعلات الكيميائية التى تحدثه الرطوبة (٤) وكذلك فقدان الشكل الجمالى الخارجى التى تعطيـه هذه اللحامات أو العراميس الأفقية والرأسية حتى أنه يطلق عليها من أهل المعمار اسم كحلة الحجر لذلك كان من الضرورى إعادة ملء هذه اللحامات أو العراميس وترميمها وذلك كالتالى :-

١- تم تنظيف اللحامات (العراميس) الأفقية والراسية من بقايا المونات الموجودة بها وما تحتويه من أمـلاح بين مكوناتها وتمت هذه المرحلة ميكانيكياً باستعمال بعض الفرر المعدنية المناسبة وبحرص شديد (٥) وقد

---

(1) Hans, D.D.: Protection And Cultural Animation Of Monuments, Sites And Historic Towns In Europe, German Commission For Unesco, Bonn, Vol.12,1980,P.89.

(2) Weber, H. And Zinsmeister, K.: Conservation Of Natural Stone, Guide Lines To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert Verlag, Germany, 2000,P.34.

3) Peroni, S. et al., : Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.216.

(4) Peterson, S., Lime Water Consolidation, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.193.

(5) Ashurst , J. : Mortars For Stone Buildings, In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, PP.86-88.

ساعدت هشاشية وضعف وتفكك هذه اللحامات من المونات إلى سهولة إزالة بقاياها وتنظيف اللحامات الأفقية والرأسية مما بها من بقايا المونات كما يتضح من الصورتين رقمى (١٨١)،(١٨٢) .

٢- تم إزالة بقايا الأتربة والمونات المفككة بعد إزالتها ميكانيكياً بواسطة منفاخ هوائى يدوى فى بعض الأجزاء وجهاز ضغط الهواء فى بعض الأجزاء الأخرى ذات الأعماق الأكبر نوعاً ما لوجود مسافات طفيفة بين كتل الأحجار فى هذه الأماكن [١]، وتم تنظيفها بشكل كامل كما يتضح من الصورة رقم (١٨٣) .

٣- تم بلل اللحامات ( العراميس) الخالية بالماء النقى تمهيداً لعملية وضع مونة اللحامات (العراميس) الجديدة لملئها وإعادتها إلى شكلها الأصلى وتم ملئها بمونه من الرمل الجير والأسمنت الأبيض بنسبة ٣ :١:١

٤- تم إعداد مونة ملء اللحامات ( الكحلة) وتتكون هذه المونة من عجينه من الجير ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ١:٢ على الترتيب حيث تم استخدام ماء الجير Lime Water فى عملية الخلط حيث يعمل مسحوق الحجر الجيرى كمادة مالئة بينما يقوم الجير المطفأ المستخدم وتركيبة هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بدور المادة الرابطة بين حبيبات الحجر حيث يتحول بعد امتصاصه لثانى أكسيد الكربون من الجو إلى كربونات كالسيوم $CaCO_3$ [٢] وهى مماثلة لتركيب الحجر الجيرى الذى يتكون بشكل أساسى من معدن الكالسيت وتركيبه الكيميائى أيضاً كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ .

٥- تم إضافة قليل من الاكسيد الأصفر ونسبة ضئيلة من الاكسيد البنى للحصول على درجة لونية قريبة من لون الأحجار إلى مونة الكحلة وبذلك أصبحت المونة جاهزة لملء اللحامات ( العراميس) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار بها .

٦- يتم أخذ مونة اللحامات بواسطة آداه معدنية رفيعة مناسبة لعمل الكحلة ومقعره بشكل معين لكى يتم وضع المونة فى أماكنها تماماً بين كتل الأحجار وبحيث تتوغل بعمق كاف داخل اللحامات[٣] .

٧- تم العمل فى اللحامات ( العراميس) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار مع إزالة أى زيادات تخرج عن حدود اللحامات أولاً بأول لكى تأخذ الشكل الجمالى المميز لها وكذلك تسد بشكل كامل أى فراغات أو لحامات موجودة [٤] وتوضح الصورتان رقمى (١٨٤)،(١٨٥) اللحامات ( العراميس ) أثناء عملية ملئها وترميمها فى منطقة قاعدة مئذنة يشبك من مهدى (الواجهة الشمالية الغربية) .

---

(1) Peroni, S. et al., : Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.218.

(2) Peterson, S., Lime Water Consolidation, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.196.

(3) Peroni, S. et al., : Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981, P.220.

(4) Ashurst , J.: Mortars For Stone Buildings , In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990, PP.89-91.

**٦) عمليات العزل الرأسى للأسطح الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى لحمايتها من مصادر الرطوبة وصيانتها من التلف مرة أخرى**

طبقاً لما تم التوصل إليه خلال الجانب التجريبى من الرسالة لتقييم بعض المواد المقوية والعازلة المستخدمة فى الآثار الحجرية حيث أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج فى عمليات عزل عينات الحجر الجيرى الخاص بمئذنة يشبك من مهدى وقد تلتها مادة Silo111 ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane حيث أدت هذه المواد إلى تخفيض نسبة امتصاص الماء والمسامية إلى أدنى مستوياتها مما يبين نجاحها وكفاءتها فى عمل طبقة عازلة على الأسطح الحجرية ومن أهم مميزات هذه المواد كمواد سيلان وسيلوكسان أنها لا تسد مسام السطح أى تسمح بتنفس الحجر كما تعطى طبقة حامية Protecting Coating دون أن تؤثر على الحجر كما أن مادة Poly Methyl Hydro Siloxane لم تؤثر على لون الأحجار المعالجة وهى شفافة تماماً وقد تم إجراء عملية العزل الراسى لأجزاء من قاعدة المئذنة بها تمهيداً لتعميمها للعزل الراسى للأسطح الحجرية لمئذنة يشبك من مهدى عند تنفيذ مشروع ترميم كامل للمئذنة حيث تم عزل هذه الأجزاء كنموذج لأعمال الترميم للعزل الراسى للمئذنة لحمايتها من الرطوبة وصيانتها من التلف وذلك من خلال الخطوات الآتية :-

١- تم رش مادة Poly Methyl Hydro Siloxane على أحجار قاعدة المئذنة والتى أنتهت بها عمليات الترميم من تنظيف ميكانيكى وكيميائى واستخلاص أملاح وتقوية بعد مرور ثلاثة أسابيع من إجراء عملية التقوية لهذه الأماكن[1] .

٢- تم تطبيق المادة بالرش من أعلى إلى أسفل مع السماح للمادة بالانسياب على السطح حتى تتشبع بها اسطح الأحجار المعالجة حيث تم امتصاص المادة بواسطة الخاصة الشعرية [2] .

٣- تم إجراء عملية العزل فى الصباح الباكر بعيداً عن درجات الحرارة المرتفعة أثناء النهار وأشعة الشمس المباشرة وذلك فى حدود كميات ومعدلات من ١,٥ إلى ٢ لتر / م٢ بحيث تم التطبيق فى وقت لم يتعدى ٣٠ دقيقة حتى لا تكون قد جفت الطبقات السطحية للحصول على نتيجة جيدة[3] كما يتضح من الصور أرقام (١٨٦)،(١٨٧)،(١٨٨)،(١٨٩) .

٤- تم تغطية المساحات التى تم رشها بواسطة البولى إيثيلين لمدة لا تقل عن ٢٤ ساعة حتى لا يتبخر المذيب ( الكحول الإيثيلى) بشكل سريع ولكى تنتشر وتتوغل المادة داخل الأحجار المعالجة إلى أقصى عمق ممكن[4] كما بالصورة رقم (١٩٠) .

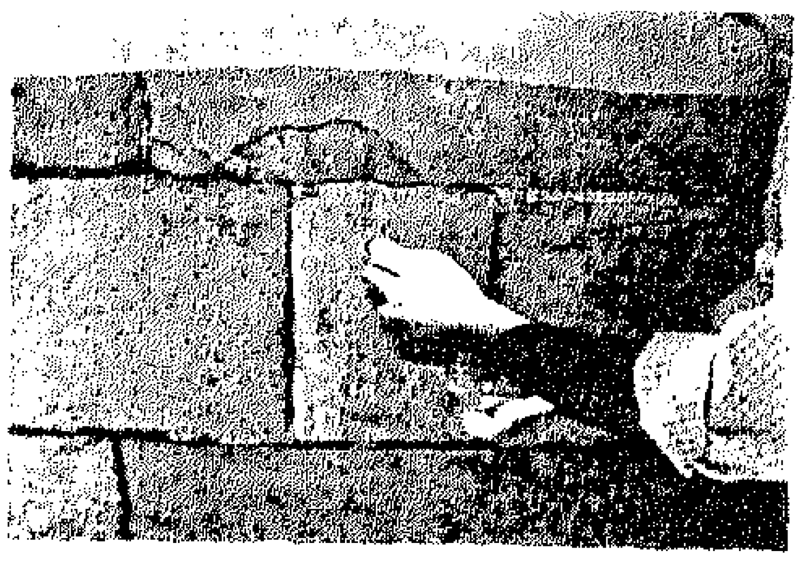
---

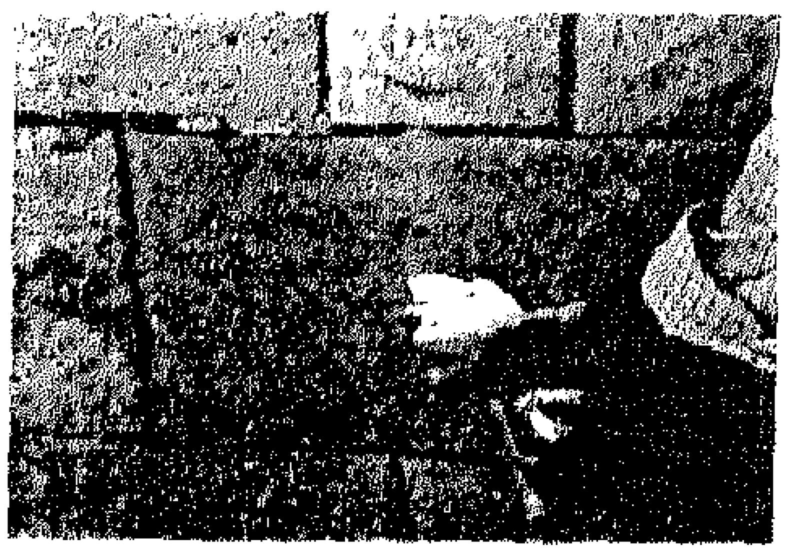
( 1) Thickett, D.: Assessment Of The Performance Of Silane Treatments Applied To Egyptian Limestone Sculptures Displayed In A museum Environment, In: 9th International Congress, Venice, 2000,P.510.

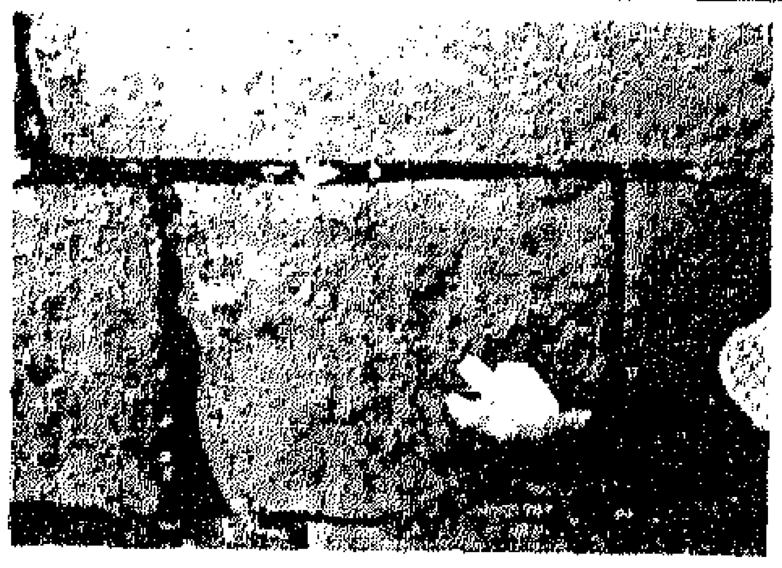
( 2) Theoulakis, P. And Tzamalis, A.: Effectiveness Of Surface Treatments For Sedimentary Limestone In Greece, In: 9th International Congress, Venice, 2000,Pp.494-496.

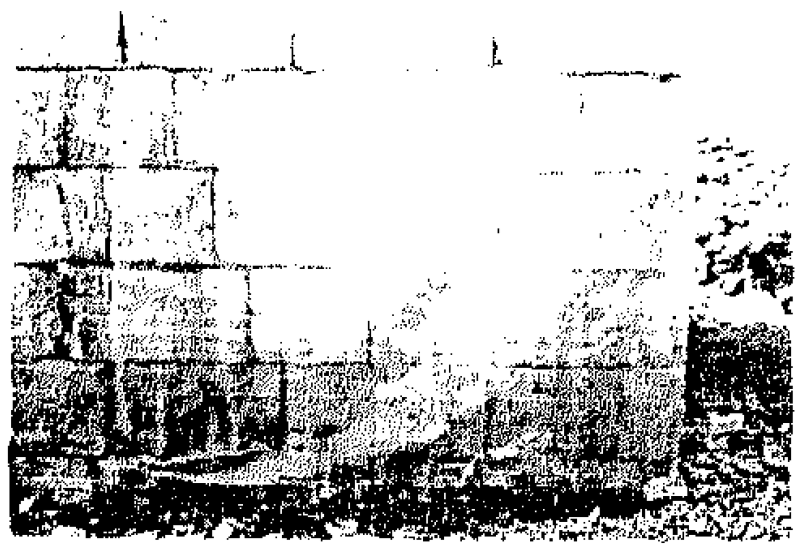
( 3) Koblischek , P.J.: The Consolidation Of Natural Stone With A stone Strengthener On The Basis Of Poly- Silcic- Acid- Ethyl Ester, In 8th International Congress, Berlin, Germany, 1996,P.1188.

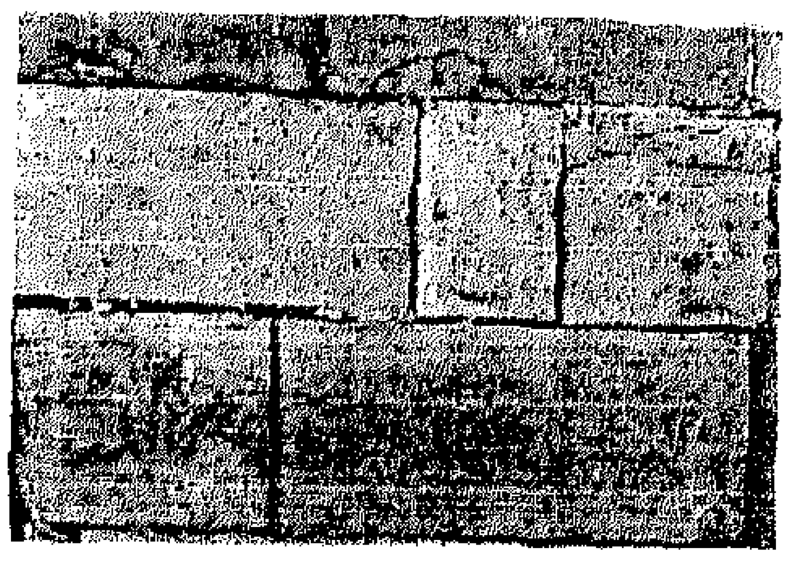
( 4) Boos, M. et al: Modified Elastic Silicic Acid Ester Applied On Natural Stone And Tests Of Their Efficiency, In : Proceeding Of The 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin Germany, 1996,P.1179.

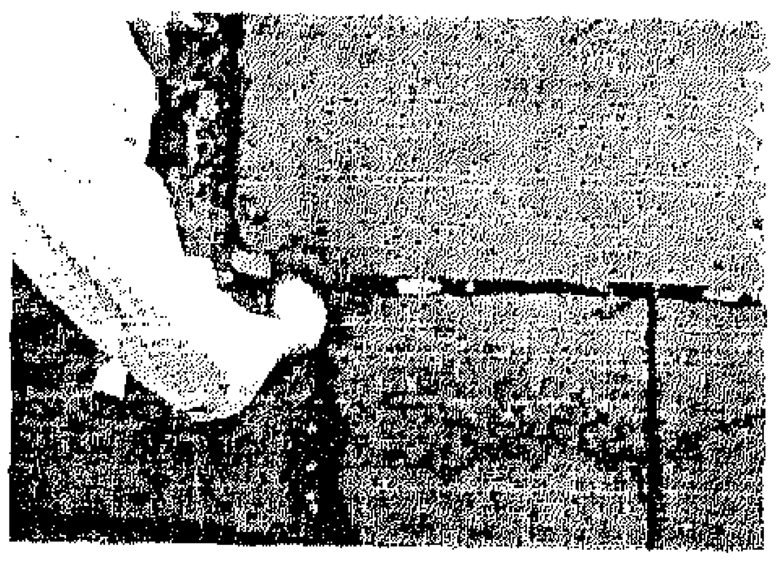

صورة رقم (١٧٦)

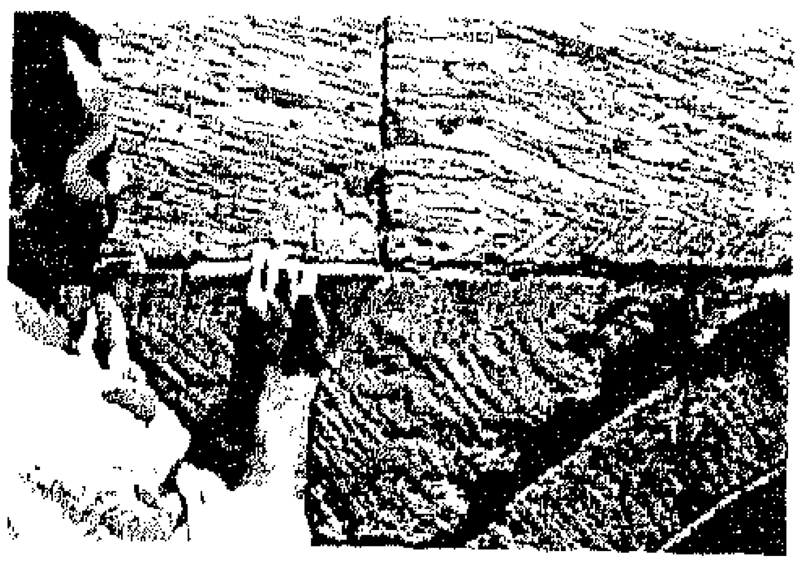

صورة رقم (١٧٧)

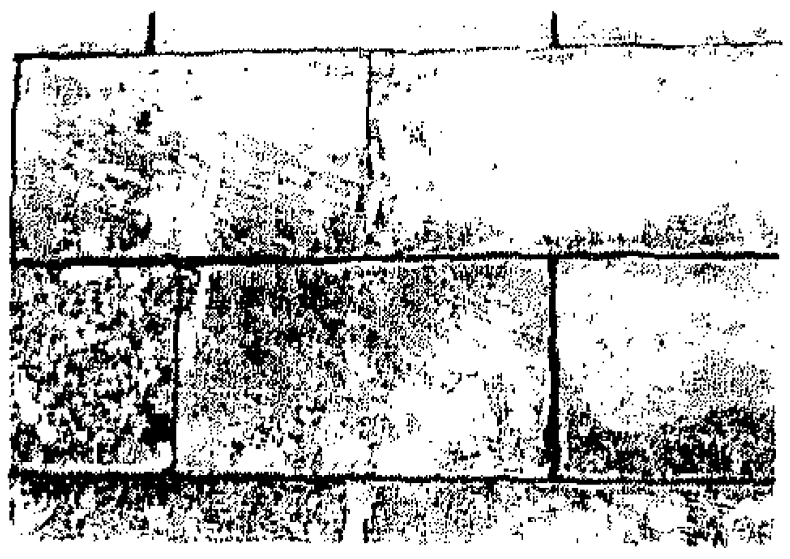

صورة رقم (١٧٨)


صورة رقم (١٧٩)

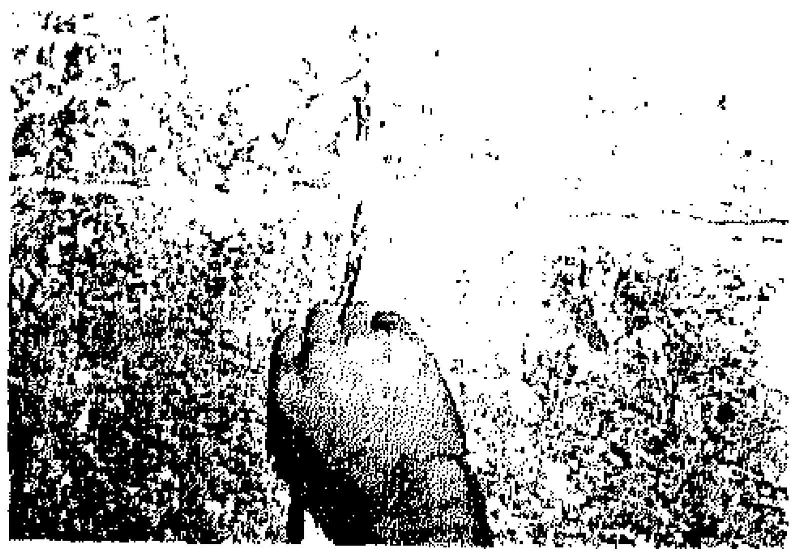

صورة رقم (١٨٠)


صورة رقم (١٨١)


صورة رقم (١٨٢)

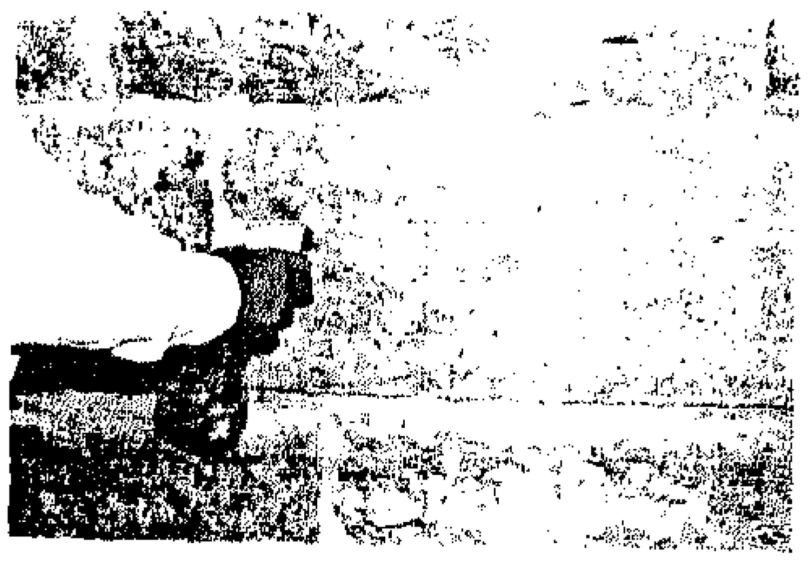

صورة رقم (١٨٣)

صورة رقم (١٨٤)

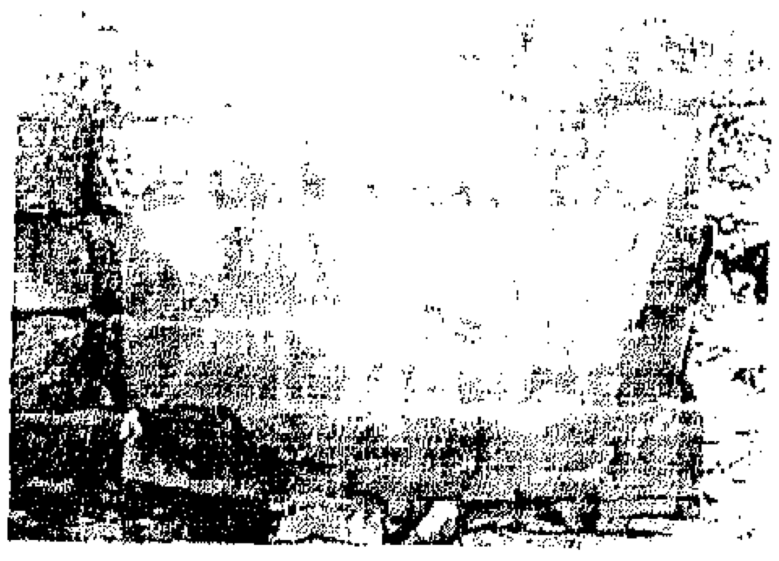

صورة رقم (١٨٥)

صورة رقم (١٨٦)

صورة رقم (١٨٧)


صورة رقم (١٨٨)

صورة رقم (١٨٩)


صورة رقم (١٩٠)

الصور من رقم (١٧٦) إلى رقم (١٨٠) توضح عملية تقوية الجدار الشمالى الغربى من قاعدة المئذنة .

الصور من رقم (١٨١) إلى رقم (١٨٥) توضح عمليات تنظيف الفواصل (العراميس) ثم عملية ملئها وترميمها .

الصور من رقم (١٨٦) إلى رقم (١٩٠) توضح عملية عزل الجدار الشمالى الغربى باستخدام مادة Poly Methyl Hydro Siloxane

(تصوير وعمل الباحث)

٥- تترسب المادة وتتبلمر بالكامل فى خلال فترة من أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع حسب درجة الحرارة والرطوبة النسبية الموجودة فى الجو المحيط [1] وبذلك تكون عملية الترميم قد انتهت وتوضح الصور من رقم (١٩١) حتى رقم (١٩٣) جزء به بقع كثيفة من القار بالواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة قبل واثناء وبعد عمليات الترميم كما توضح الصوة من رقم (١٩٤) حتى رقم (٢٠٥) بعض الأجزاء من الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة قبل وبعد عمليات العلاج والترميم والصيانة ، كما توضح الصورتان رقم (٢٠٦)،(٢٠٧) الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة مئذنة يشبك من مهدى بعد إنتهاء عمليات العلاج والترميم الدقيق والصيانة لها .

## رابعاً : أعمال تأهيل وتنسيق الموقع المحيط بمئذنة يشبك من مهدى

من خلال دراسة الموقع المحيط بالمئذنة تبين وجود أكوام من القمامة والمهملات والنفايات حول المئذنة تم الحديث عن ضرورة إزالتها والتخلص منها بنقلها إلى المقالب العمومية كما أتضح أن الطرق المحيطة بالمئذنة ومساحات الأرض ترابية وغير ممهدة بالإضافة إلى ارتفاع منسوبها عن المنسوب الأصلى لها مما أدى إلى إخفائها لجانب كبير من الجدار المؤدى إلى المئذنة من مسجد الإمام الليث والباب الموجود فيه كما أدى وجود طبقات الردم وارتفاع منسوب المنطقة المحيطة بالمئذنة إلى إخفاء جزء كبير من الساباط ( الممر المقبى النافذ) وقاعدة المئذنة كما أن المئذنة موجودة إلى الغرب من مسجد الإمام الليث مستقلة ومنفصلة عنه ولا يوجد رابط بينها وبين المئذنة كما أنه يتم الوصول إلى المئذنة من خلال ممر ضيق (حارة) إلى اليمين من المواجهة للمدخل الرئيسى للمسجد حيث نسير فى هذا الممر الضيق ثم نأخذ اتجاه اليسار بعد ذلك للوصول إلى المساحة الخالية الموجودة بها المئذنة والتى يحيط بها المقابر والمساكن العشوائية ولذلك كان لابد من تأهيل المنطقة المحيطة بمئذنة يشبك من مهدى ومحاولة التنسيق بينها وبين مسجد الإمام الليث وشد الانتباه إلى المسجد والمئذنة حيث أنه يوجد فى منطقة الإمام الليث المنعزلة وهى منطقة مليئة بالمقابر والجبانات وذلك كما يلى:

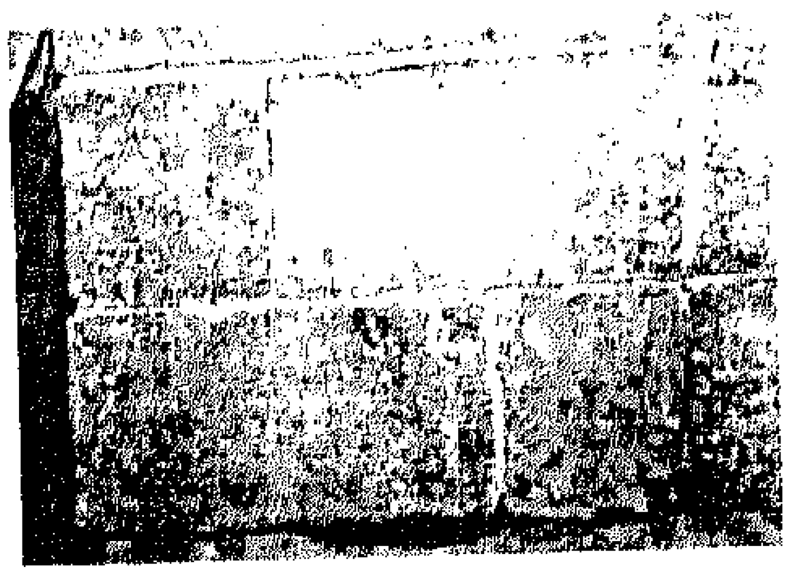
- خفض منسوب الأرض المحيطة بالمئذنة حوالى ٨٥ سم حتى الوصول إلى قاعدة المئذنة الملاصقة للتربة لإظهار قاعدة المئذنة والممر المقبى الموجود فيها بشكل كامل وذلك فى المساحات المتاخمة للمئذنة على الأقل ويفضل بطبيعة الحال الانخفاض بالمنسوب بشكل كامل فى محيط المئذنة ومسجد الإمام الليث للوصول إلى المنسوب الأصلى للأرض .
- بعد عملية خفض منسوب الأرض المحيطة بالمئذنة كان لابد من العمل على إيجاد مدخل أو ممر واسع للوصول إلى المئذنة من خلال المرور أمام الواجهة الرئيسية لمسجد الإمام الليث ويتحقق ذلك بإزالة المبنى العشوائى المتأخم لمسجد الإمام الليث لعمل ممر مناسب من حيث الاتساع وعمل نوع من التنسيق بين مسجد الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى بالإضافة إلى وجود منزل عشوائى ذو سقف من الصفيح ملاصق لأحد جدران مئذنة يشبك من مهدى ويحجب جزءاً منها ولذلك لابد من إزالة هذا المنزل

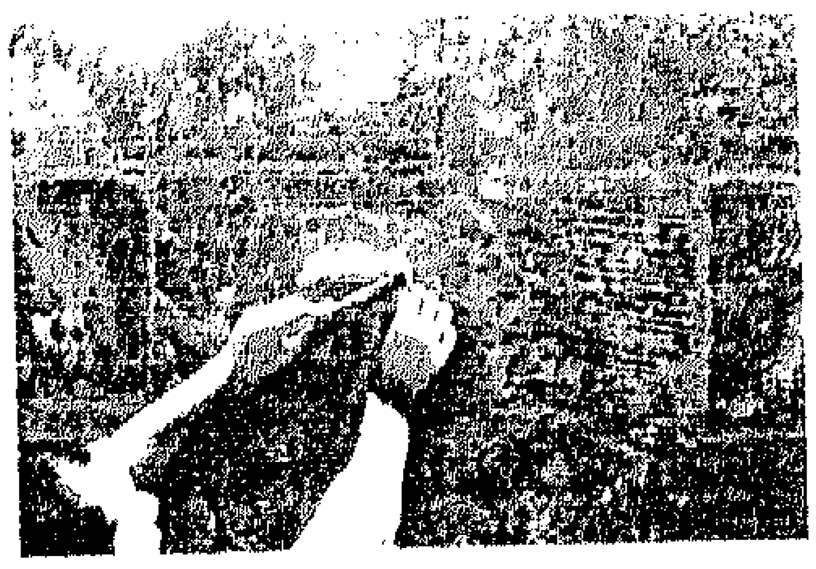
---

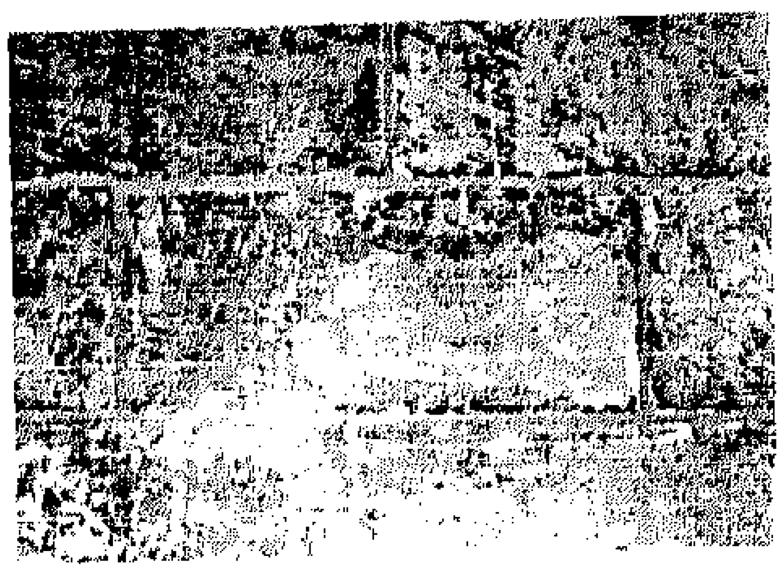
(1) Bradley, S.M.: Evalution Of Organosilanes For Use In Consolidation Of Sculpture Displayed Indoors In : Deterioration And Conservation Of Stone, 5th International Congress, Lausanne, 1985,P.239.

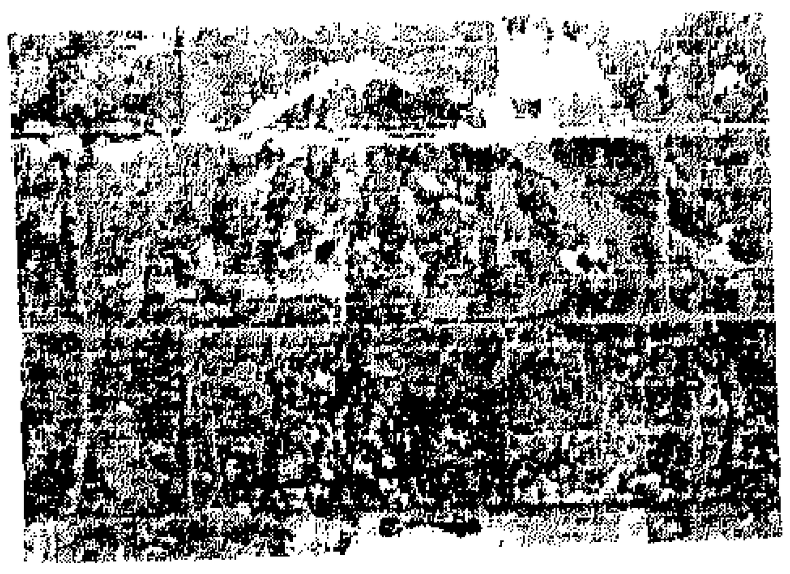
صورة رقم (١٩١)

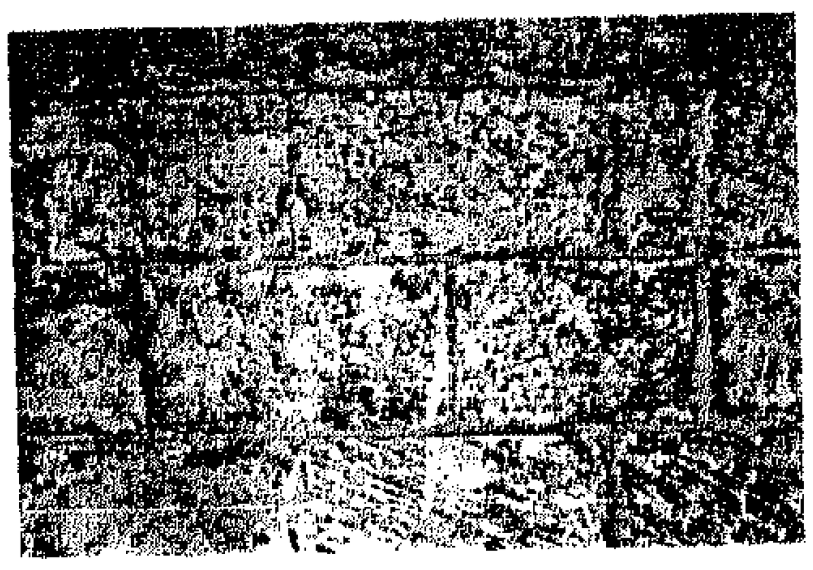
صورة رقم (١٩٢)

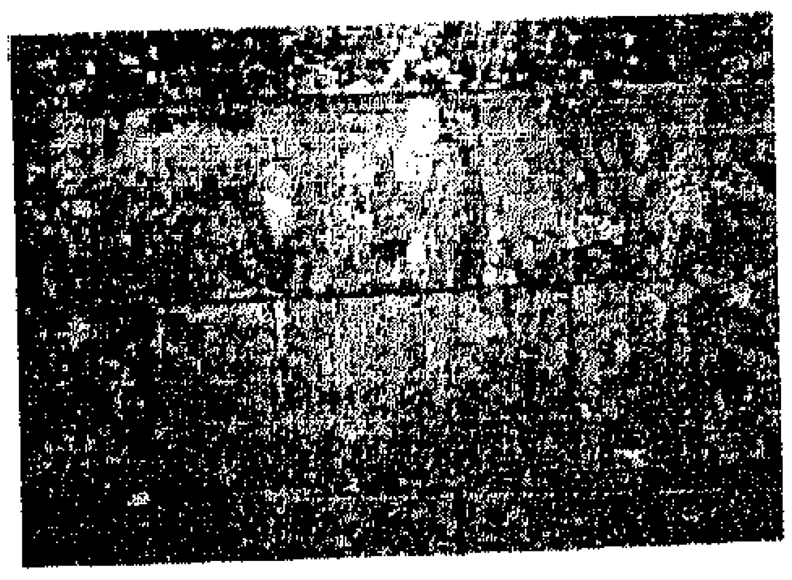

صورة رقم (١٩٣)

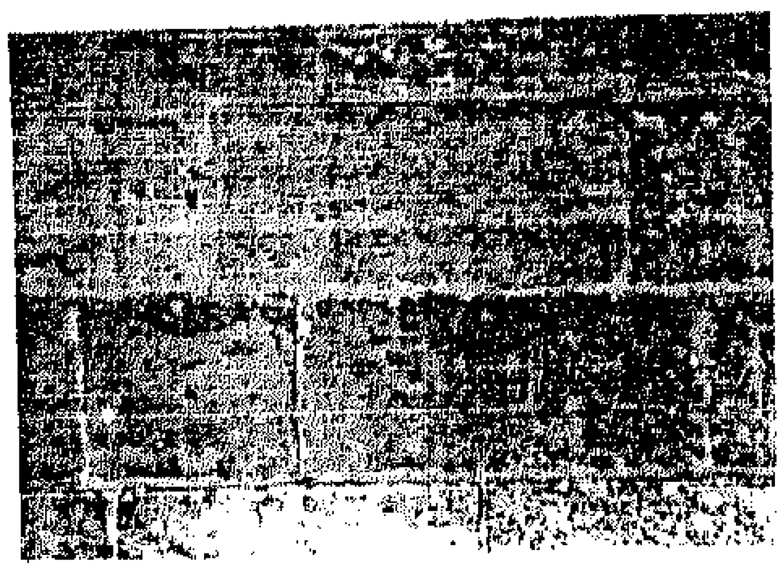

صورة رقم (١٩٤)

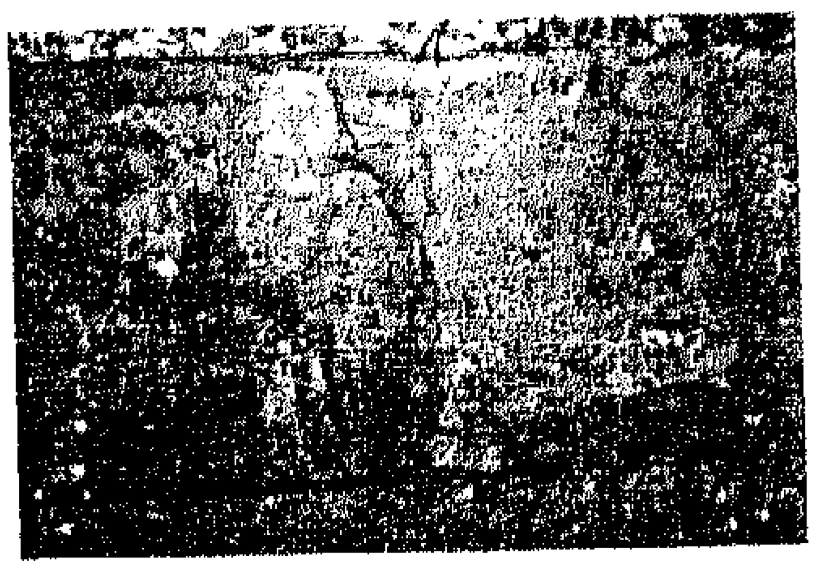

صورة رقم (١٩٥)

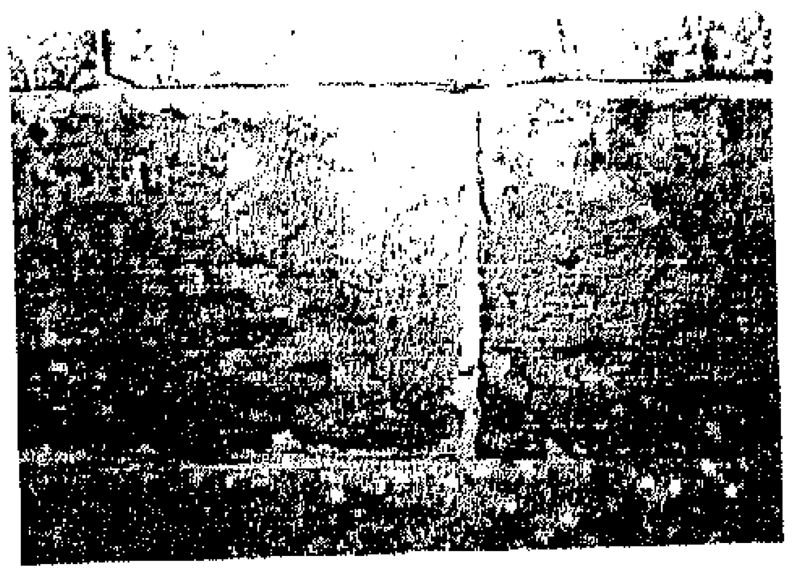

صورة رقم (١٩٦)

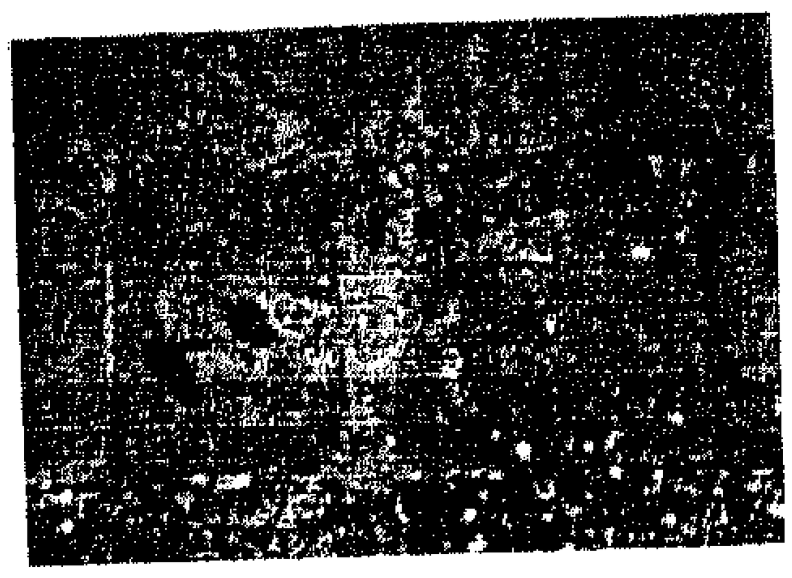

صورة رقم (١٩٧)

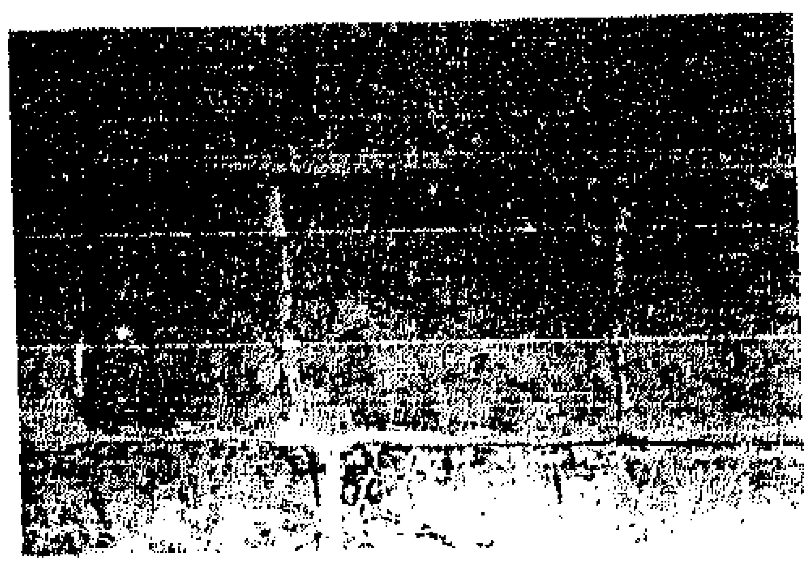

صورة رقم (١٩٨)


صورة رقم (١٩٩)

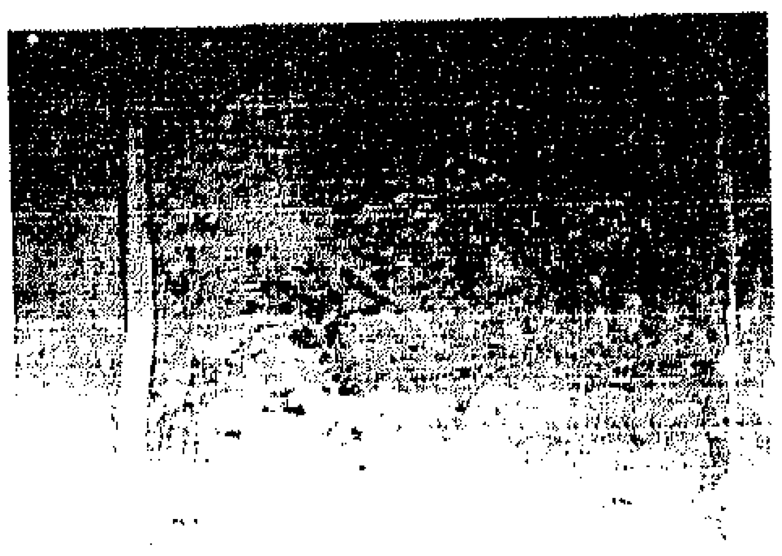

صورة رقم (٢٠٠)


صورة رقم (٢٠١)


صورة رقم (٢٠٢)


صورة رقم (٢٠٣)

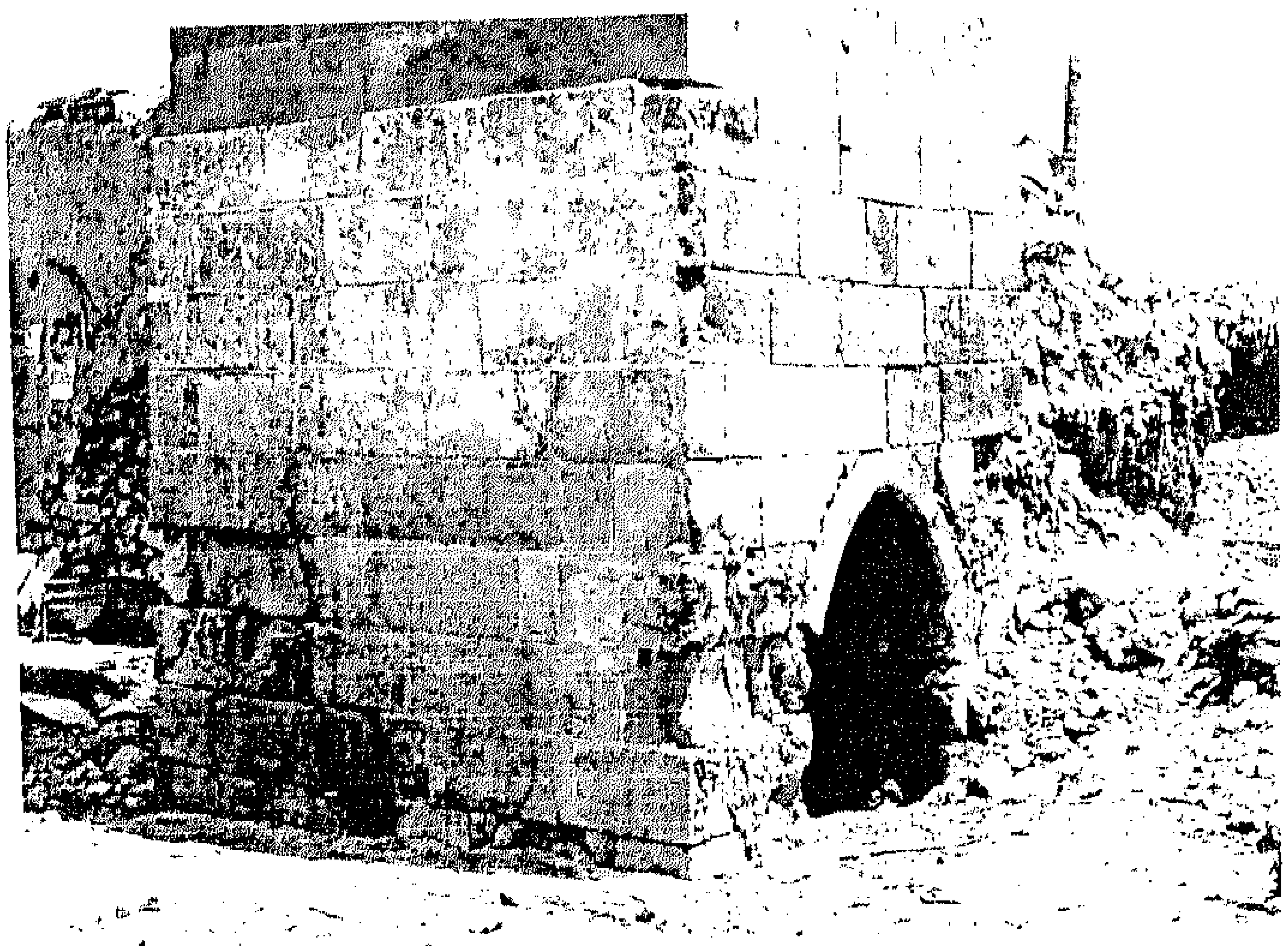
صورة رقم (٢٠٤)


صورة رقم (٢٠٥)

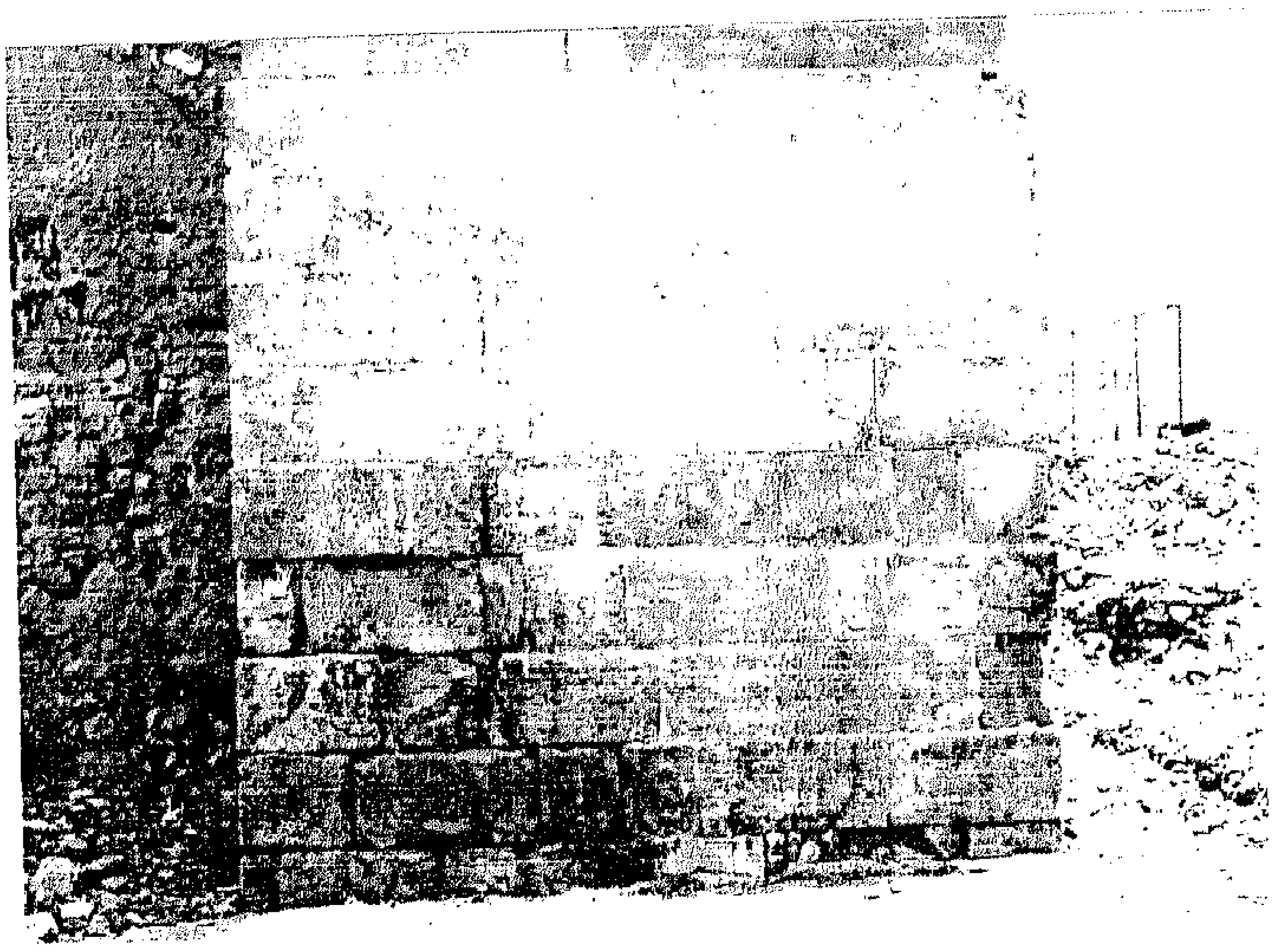
الصور من رقم (١٩١) إلى رقم (١٩٧) توضح عمليات التنظيف الكيميائى لإزالة بقع من القار والألوان والشحوم من على سطح الجدار الشمالى الغربى من قاعدة المئذنة .

الصور من رقم (١٩٨) إلى رقم (٢٠٥) توضح بعض الأجزاء من الجدار الشمالى الغربى من قاعدة المئذنة قبل وبعد عمليات الترميم حيث تم إجراء عمليات التنظيف الميكانيكى والكيميائى وإزالة البقع والعوالق واستخلاص الأملاح والتقوية وترميم الفواصل بين كتل الأحجار ثم عزل أسطح الأحجار لصيانتها من التالف مرة أخرى .

( تصوير وعمل الباحث )



صورة رقم (٢٠٦) توضح الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة بعد إجراء عمليات الترميم والصيانة ويظهر الفارق بينها وبين الأجزاء الأخرى من المئذنة وكذلك إزالة طبقات الردم وإعادة المئذنة إلى منسوبها الأصلي .

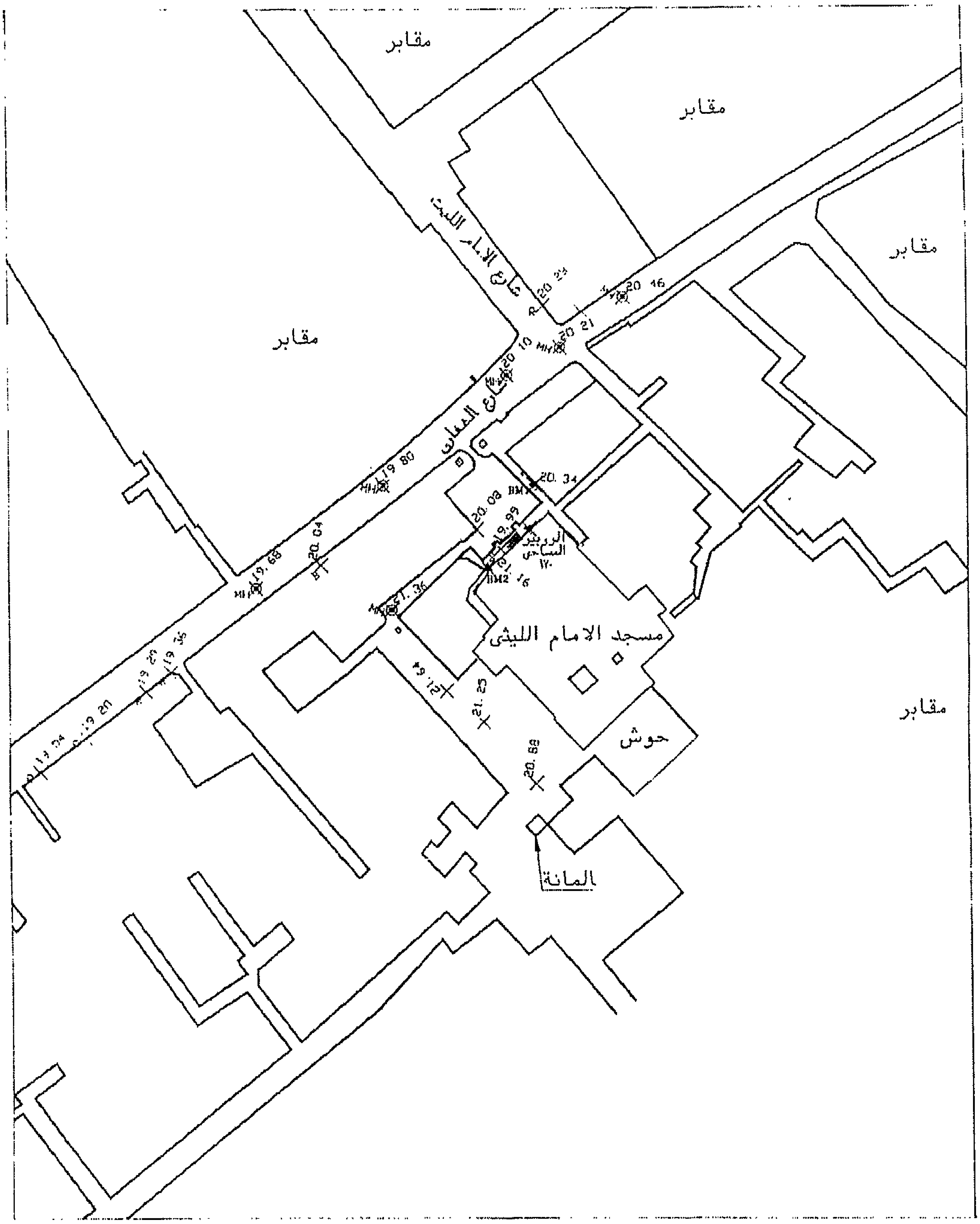


صورة رقم (٢٠٧) توضح الواجهة الشمالية الغربية من قاعدة المئذنة بعد إجراء عمليات العلاج والترميم والصيانة ويتضح الجزء الذى يحتاج إلى استبدال بعض أحجاره التالفة إلى اليسار من الصورة .

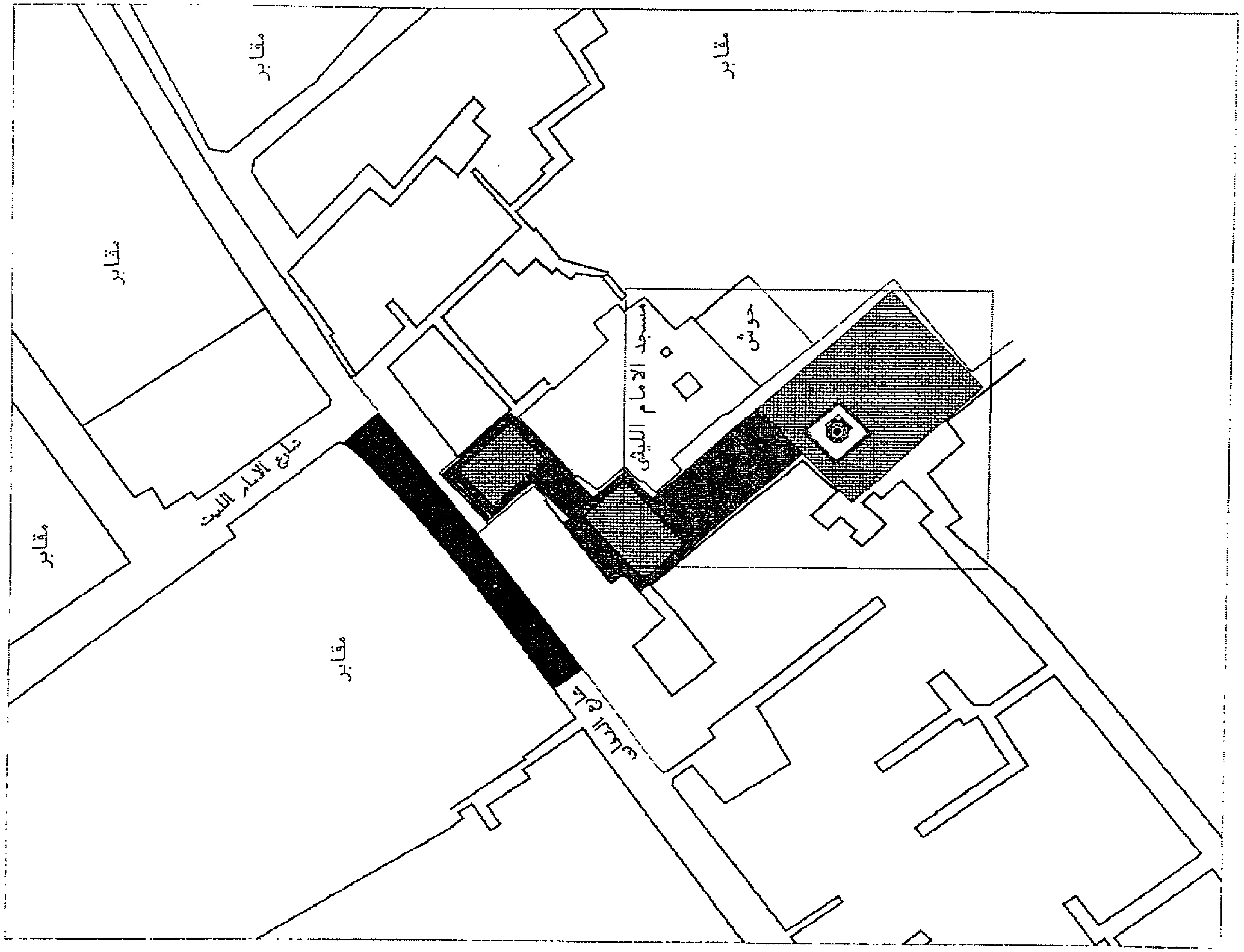
( تصوير الباحث )

العشوائى المكون من دور واحد والمبنى بطريقة عشوائية عند ذلك يكون الموقع المحيط بالمئذنة قد أعد للتنسيق خاصة بعد إجراء عملية خفض منسوب الأرض إلى المنسوب الطبيعى الأصلى .

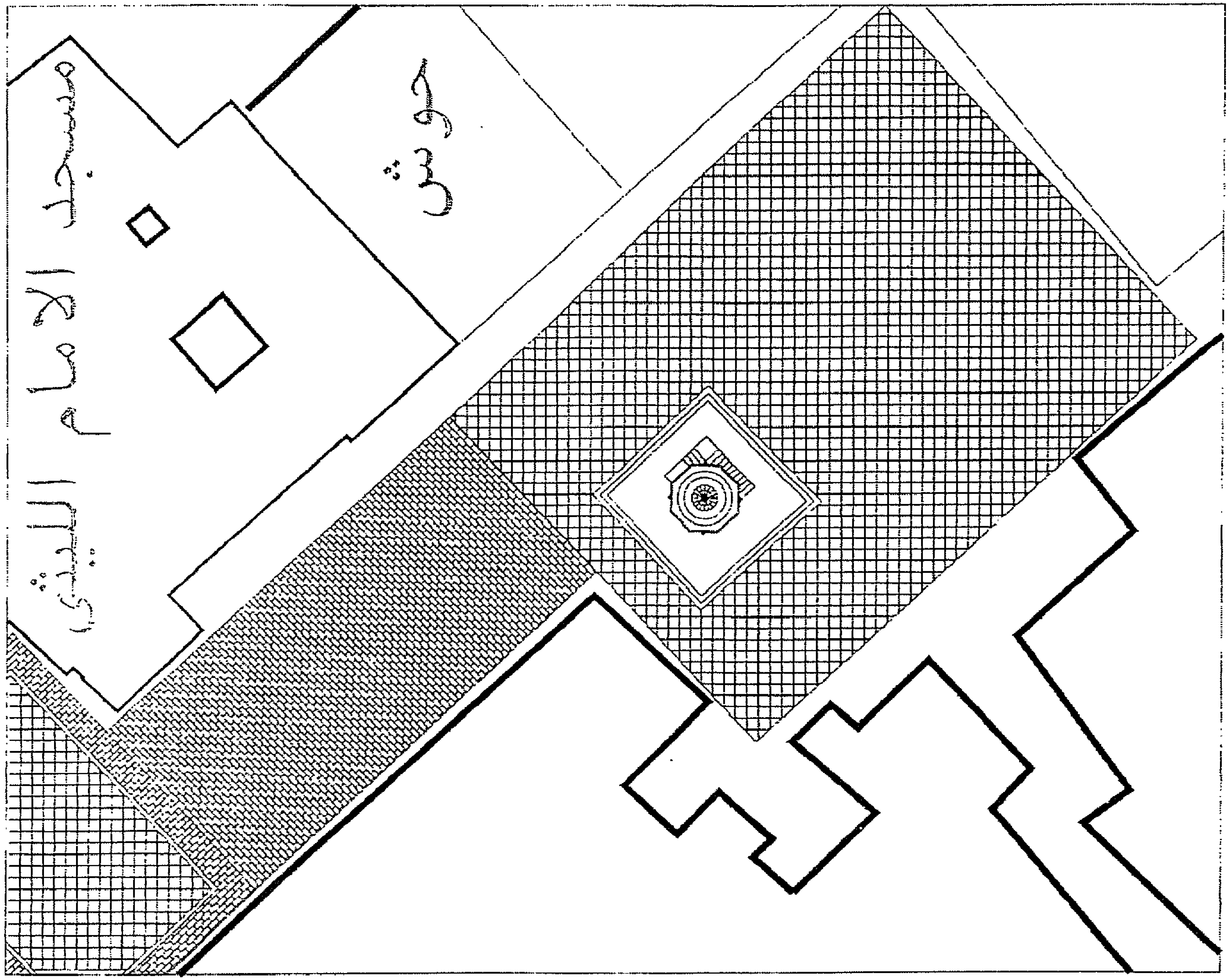
- ومن أجل لفت الانتباه إلى مسجد الإمام الليث يقترح عمل تغطية للجزء المقابل لمسجد الإمام الليث من شارع الغفارى الذى يمر من أمام المئذنة بواسطة بلاطات من البازلت مع تنظيف المنطقة المحيطة بـه ومحاولة رصف باقى أجزاء الشارع أمام المسجد ، وللتوضيح نتبين من خلال شكل رقم (٨٢) موقع مسجد الإمام الليث فى منطقة الإمام الليث وشارع الغفارى الذى يمر من أمام المئذنة ، ويوضح الشكل رقم (٨٣) شارع الغفارى بعد تغطية الجزء المواجه لمسجد الإمام الليث منه بالبازلت لإعطائه لسمه جمالية وقيمة فنية تتناسب مع القيمة الفنية والتاريخية للأثر وللربط والتنسيق بين المئذنة ومسجد الإمام الليث يقترح عمل تبليطات وتكسيات حجرية فى المنطقة المتسعة الموجودة أمام الواجهة الرئيسية للمسجد بحيث تأخذ شكلاً هندسياً ملائماً وتمتد هذه التكسيات الحجرية خلال الممر المؤدى للمئذنة وخلال المنطقة المتأخمة للمئذنة بحيث تصل هذه التكسيات الحجرية بين واجهة مسجد الإمام الليث ومئذنة يشبك من مهدى الخاص بالمسجد ويتضح ذلك من خلال شكل رقم (٨٣).
- تمتد هذه التكسيات الحجرية بحيث تأخذ شكلاً هندسياً منتظماً مختلفاً عن بقية تصميم البلاطات والتكسيات الحجرية وذلك فى المنطقة أو المساحة المربعة المحيطة بالمئذنة كما يتم عمل تدرج من ثلاثة مستويات من التكسيات الحجرية يوجد أعلاها عند قاعدة المئذنة ويتم عمل مستويين أخريين بحيث يتم الوصول إلى مستوى المئذنة من خلال صعود ثلاثة درجات وبذلك يكون قد تم عمل إظهار معمارى مميز للمئذنة يبرز استقلاليتها وتفردها فى موقعها بحيث تبدو وكأنها أقيمت على تكسيات حجرية من ثلاثة مستويات مع مراعاة أن تكون فى اتجاه مخالف لاتجاه التكسيات الحجرية لباقى المنطقة المحيطة للمئذنة كما يتضح من الشكل رقم (٨٤) .
- يقترح عمل حرم للمئذنة يحيط بها عبارة عن سياج من قوائم حديدية تصل بينها سلاسل حديدية على بعد مناسب من المئذنة لحمايتها ويكون الدخول إلى هذا الحرم من الجهة الجنوبية الشرقية حيث يبدأ السلم المقترح عمله والمؤدى إلى باب الدخول إلى المئذنة .
- وتوضح اللوحات أرقام (٦١)،(٦٣)،(٦٤)،(٦٥)،(٦٦)،(٦٧)،(٦٨) الشكل المقترح لمئذنة يشبك من مهدى بعد عمليات العلاج والترميم والصيانة وتنسيق وتأهيل الموقع المحيط بها وذلك فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة وفى حالة عدم الاستكمال للجوسق وقمة المئذنة.



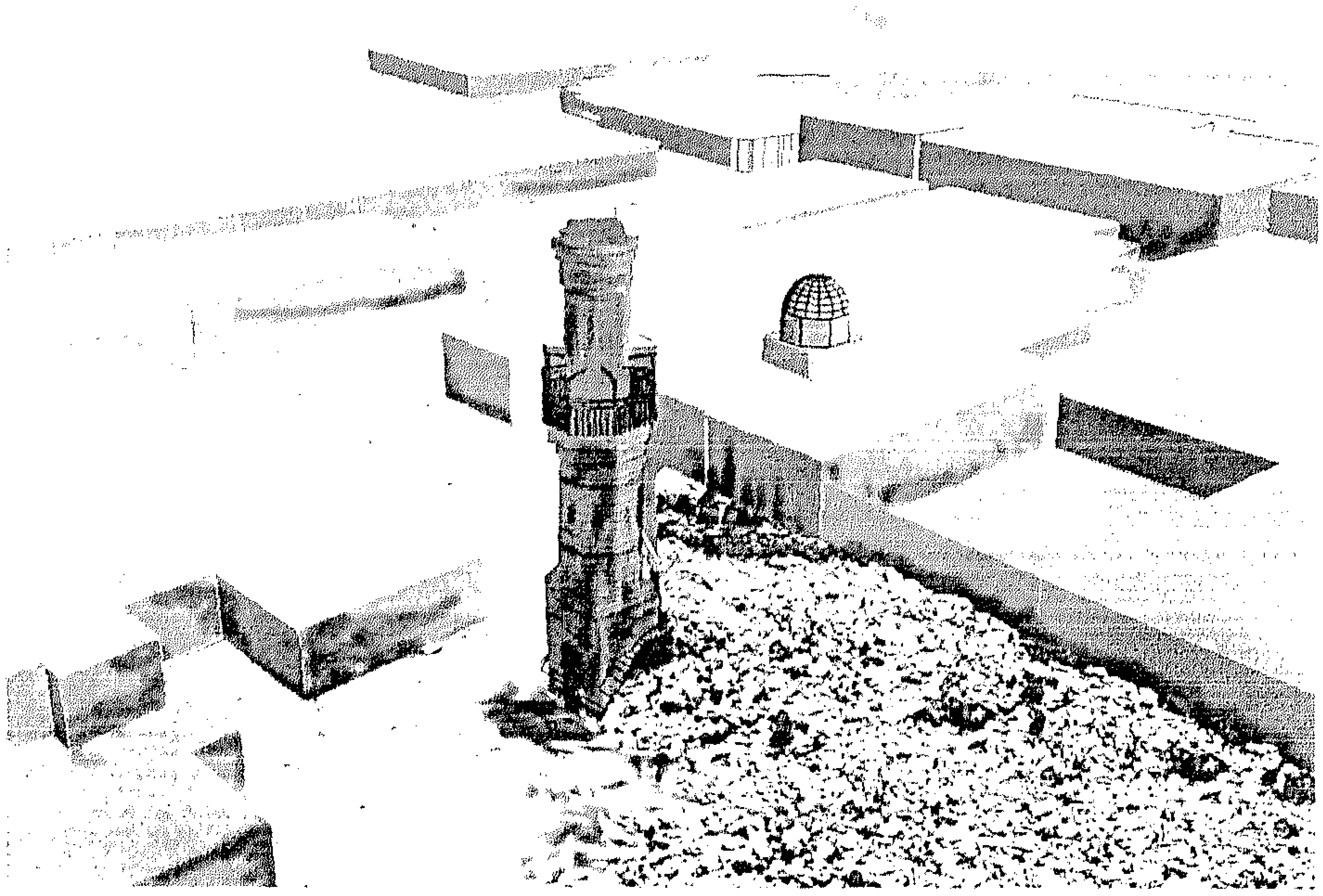

شكل رقم (٨٢) يوضح موقع مئذنة يشبك من مهدى ومسجد الإمام الليث بمنطقة عين الصيرة .



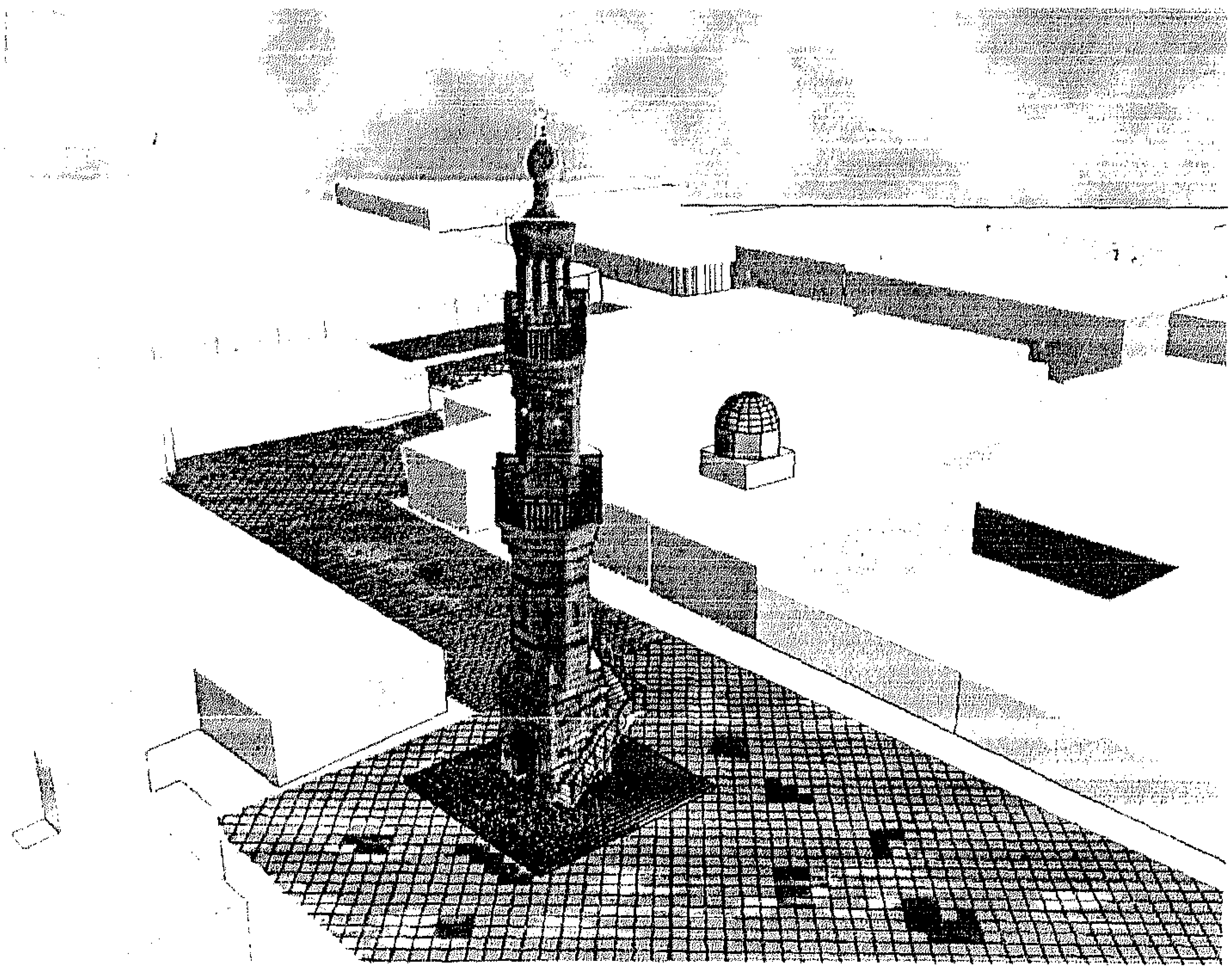

شكل رقم (٨٣) يوضح التصميم المقترح للبلاطات الحجرية لتنسيق الموقع المحيط بمئذنة يشبك من مهدى .
( عمل الباحث )




شكل رقم (٨٤)
يوضح تفصيلية من البلاطات الحجرية المقترح عملها لتكسيه وتنسيق المنطقة المحيطة بمئذنة يشبك من مهدى .
(عمل الباحث)

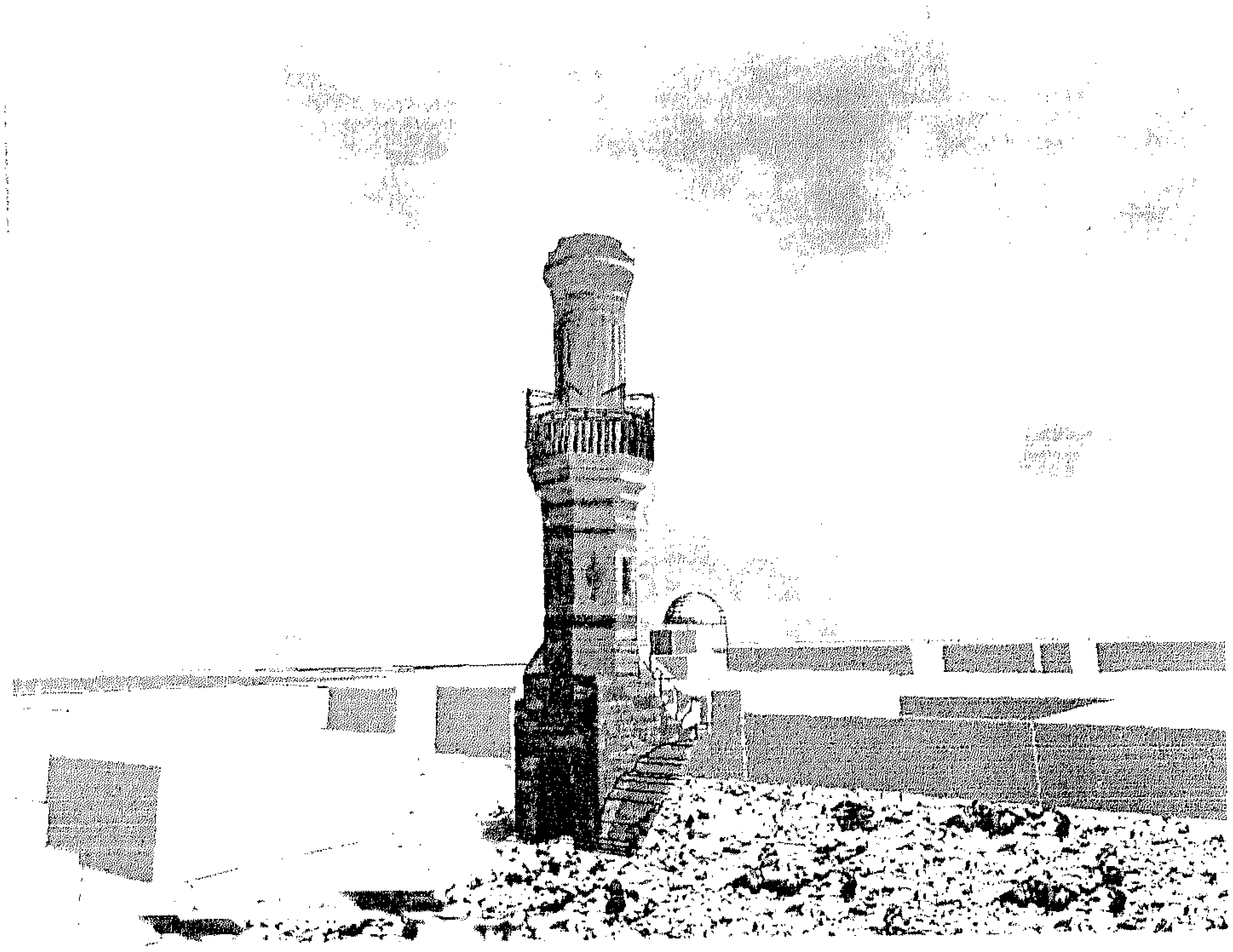


لوحة رقم (٦٠) توضح منظور للوضع الراهن لمئذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها.

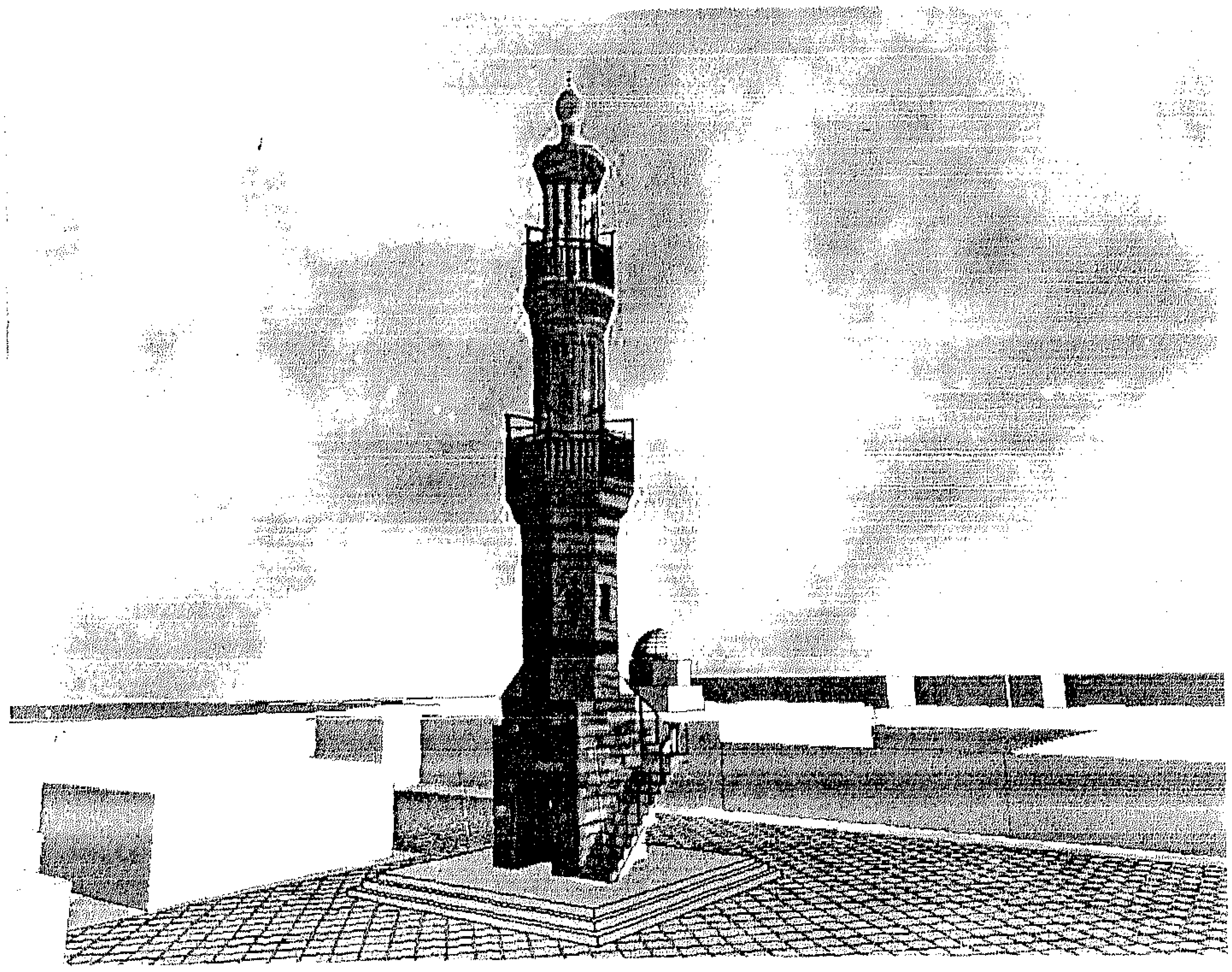


لوحة رقم (٦١) توضح منظور مقترح لمئذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها
بعد إستكمال الجوسق وترميم المئذنة وتأهيل المنطقة المحيطة بها.

(عمل الباحث)

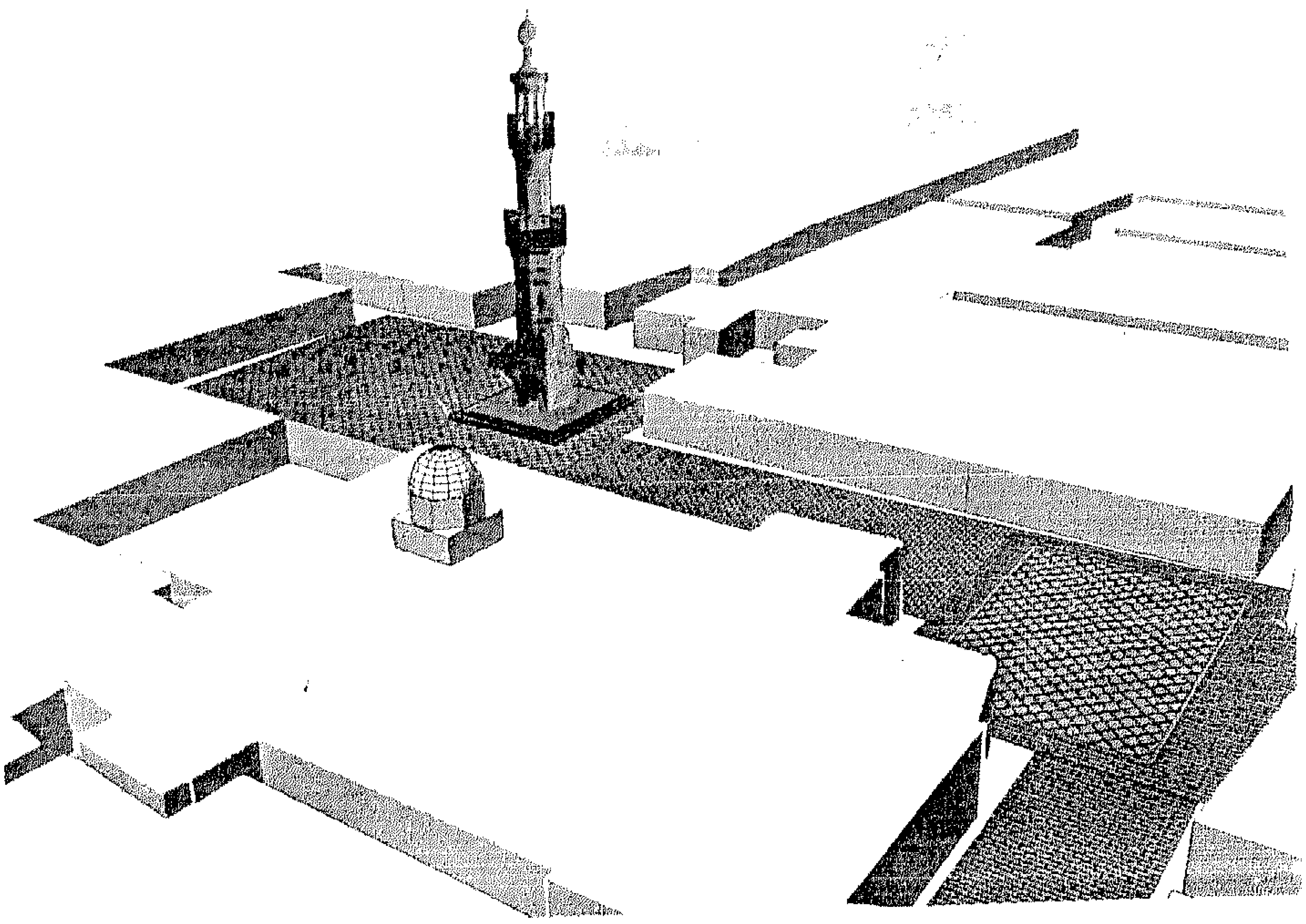


لوحة رقم (٦٢) توضح منظور آخر للوضع الراهن لمنذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها.



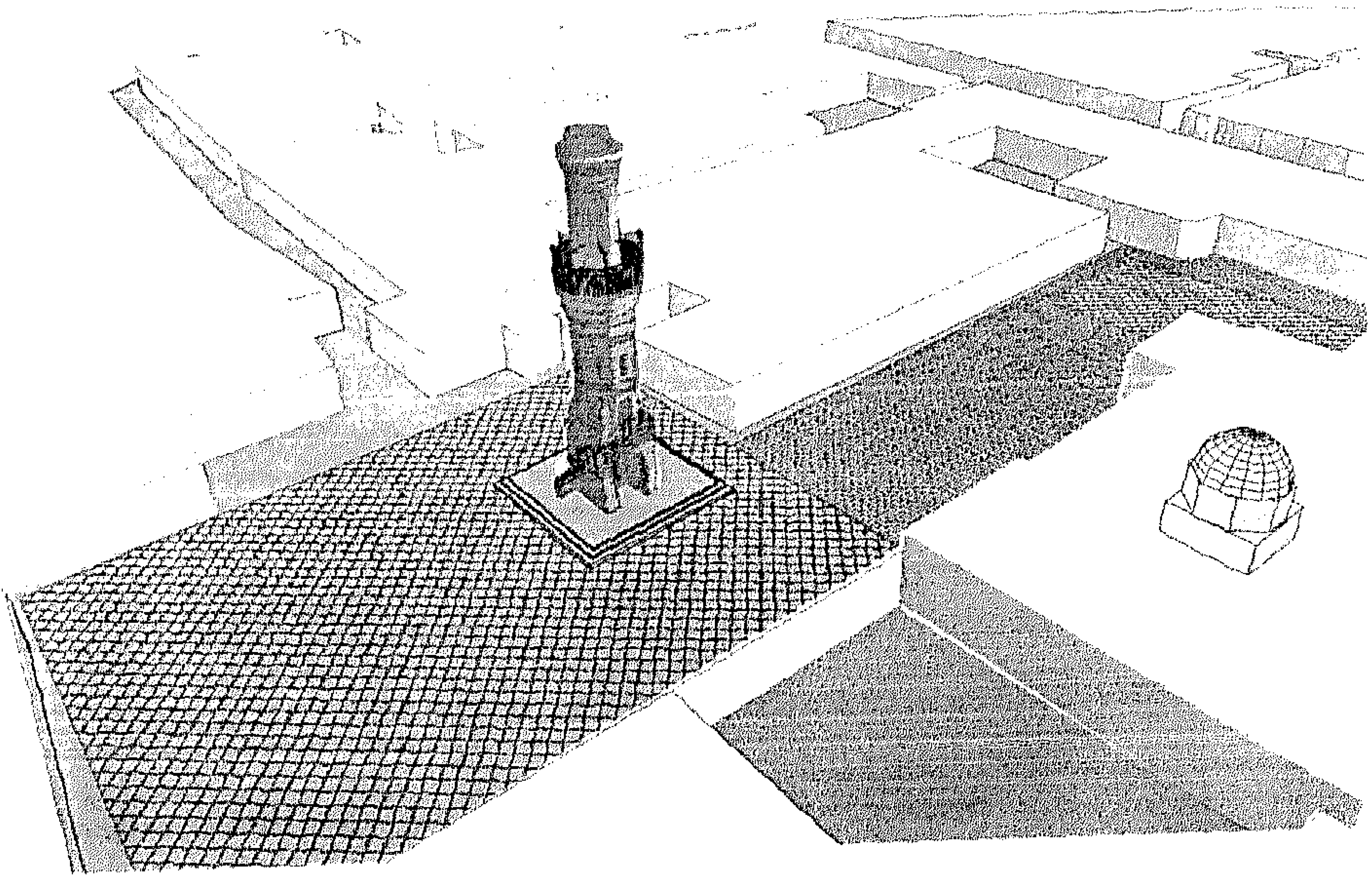
لوحة رقم (٦٣) توضح منظور مقترح آخر لمنذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها بعد إستكمال الجوسق وترميم المنذنة وتأهيل المنطقة المحيطة بها.

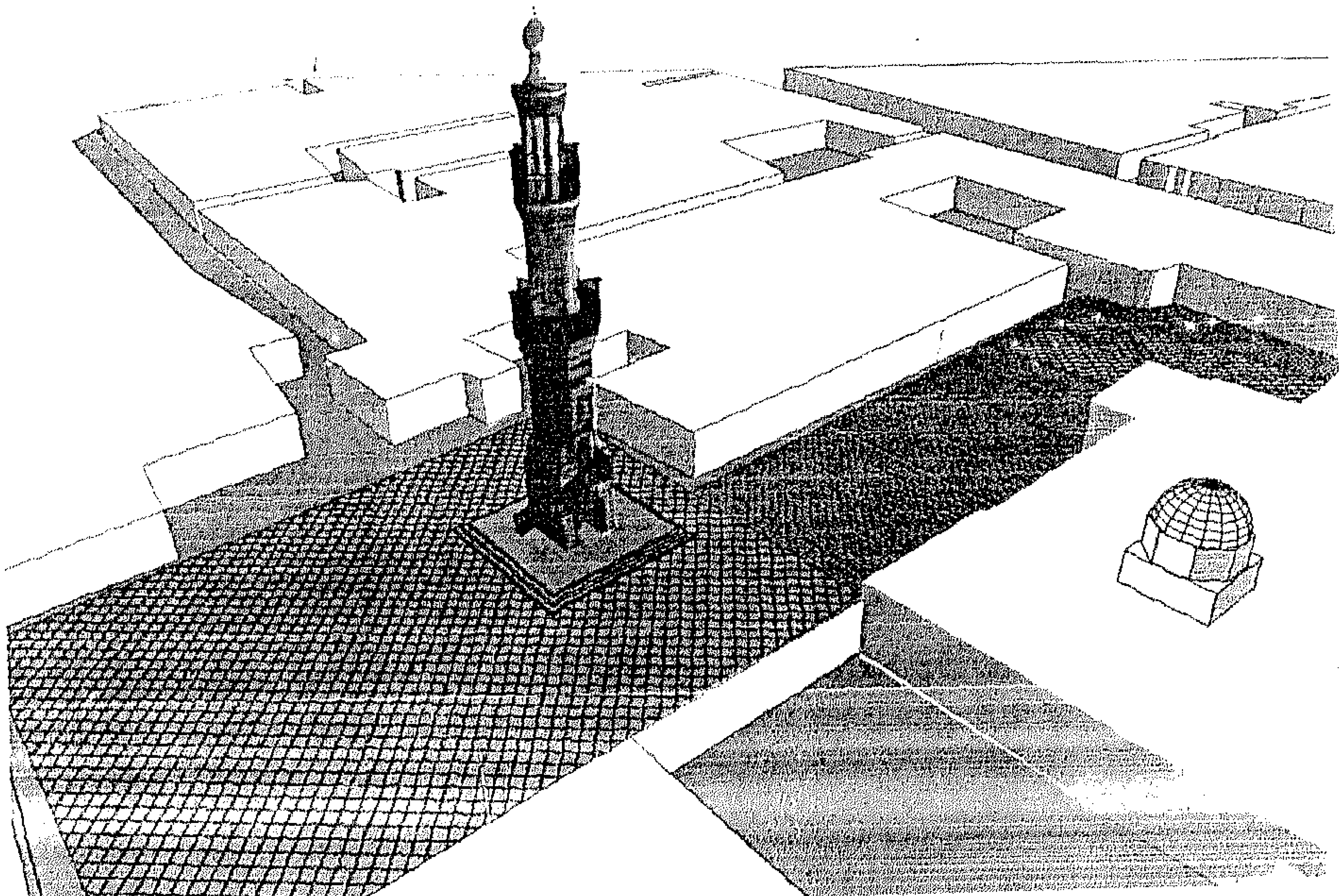
(عمل الباحث)



لوحة رقم (٦٤) توضح منظور مقترح آخر لمئذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها بعد إستكمال الجوسق وترميم المئذنة وتأهيل المنطقة المحيطة بها من إتجاه واجهة مسجد الإمام الليث.

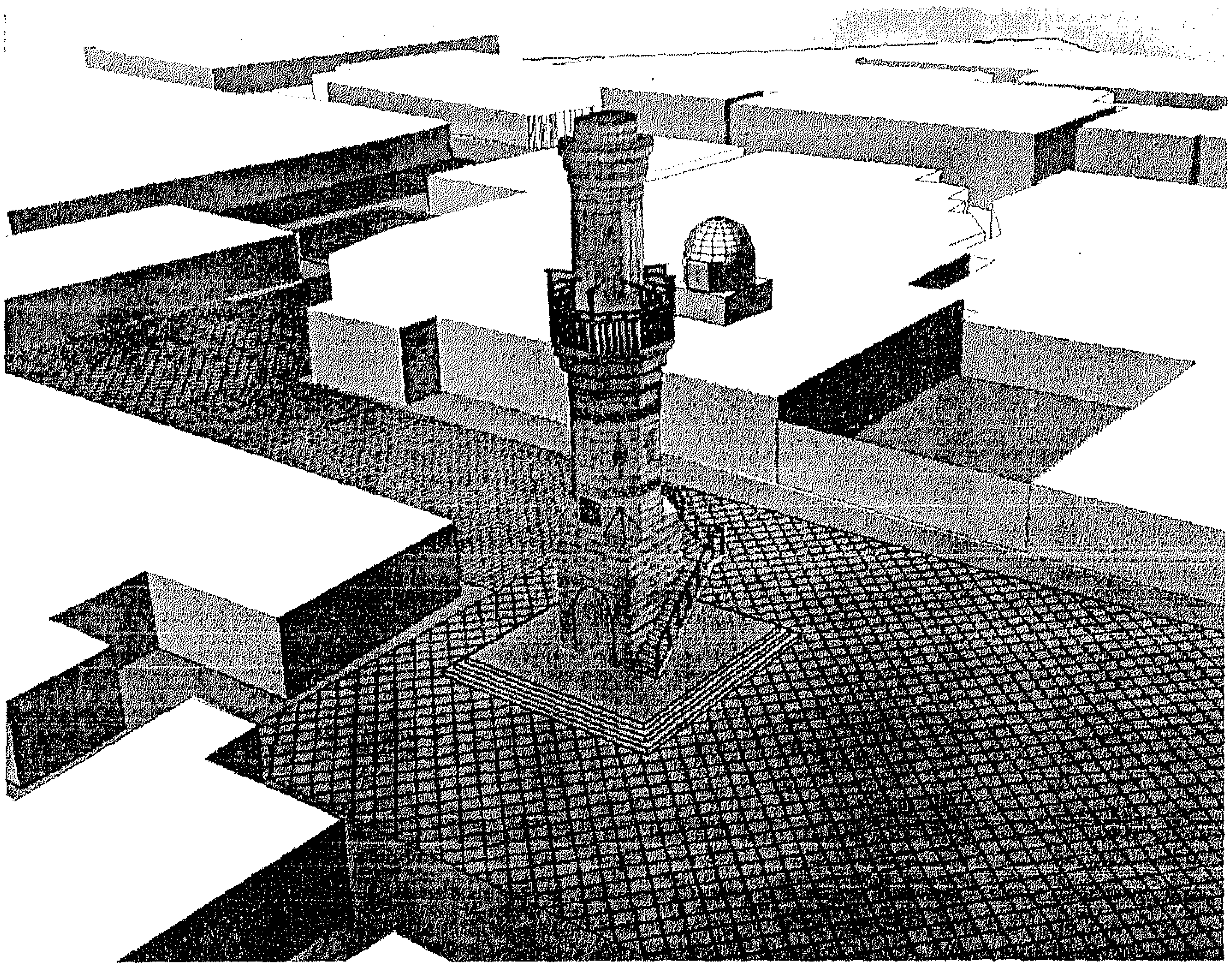
(عمل الباحث)

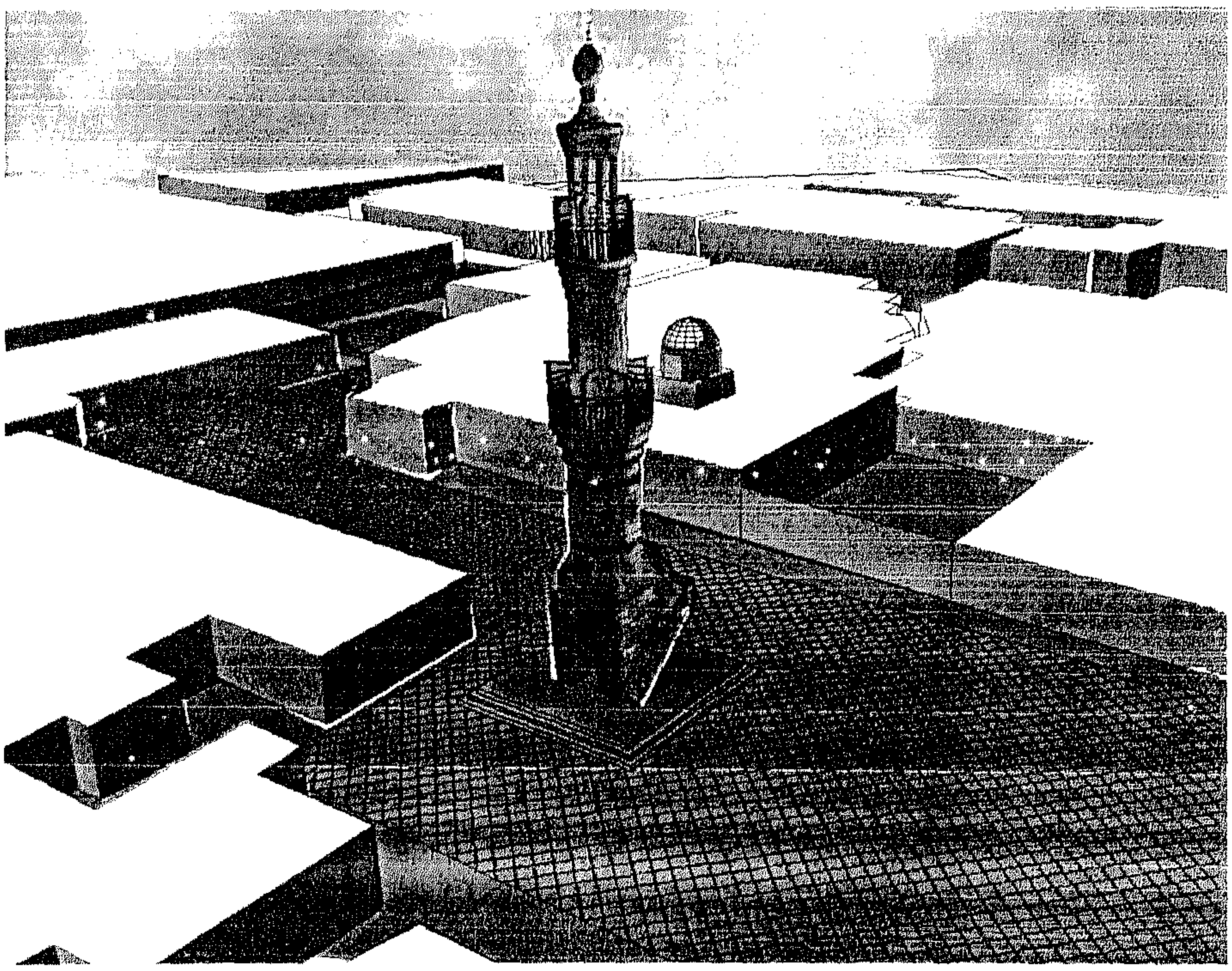




لوحتان رقمى (٦٥ و ٦٦) توضحان مقارنة بين منظور مقترح لمئذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها بعد إستكمال الجوسق وترميم المئذنة وتأهيل المنطقة المحيطة بها وبدون إستكمال الجوسق.

(عمل الباحث)





لوحتان رقمى (٦٧ و ٦٨) توضحان مقارنة بين منظور مقترح آخر لمئذنة يشبك من مهدى والمنطقة المحيطة بها بعد إستكمال الجوسق وترميم المئذنة وتأهيل المنطقة المحيطة بها وبدون إستكمال الجوسق.

(عمل الباحث)

# مناقشة النتائج المستخلصة من الرسالة

# مناقشة النتائج المستخلصة من الرسالة

من خلال موضوع الرسالة وهو دراسة علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية تطبيقا على إحدى المآذن الأثرية المختارة والذى جاء فى خمسة فصول تم التوصل إلى النتائج الآتية :

## أولا : الجانب الأثرى

تبين من خلال الدراسة الأثرية أن المكان المخصص لرفع الآذان فى الآثار الإسلامية الدينية أطلق عليه ثلاثة أسماء هى الصومعة والمنارة والمئذنة وأورد بعض المؤرخين أن بناء المآذن بدأ فى عهد سيدنا عثمان بن عفان وكانت المآذن فى عصره مربعة الشكل بينما لم تكن المئذنة معروفة فى أيام الرسول (صلى الله عليه وسلم ) وكان وقتها يؤذن للصلاة من فوق سور المدينة ، ومن الدراسة الأثرية والتاريخية تبين أن المآذن الأثرية استخدمت لأغراض أخرى غير الآذان للصلاة ومنها الإعلان عن حالات الوفاة وإنشاد الابتهالات الدينية فى المناسبات الدينية مثل شهر رمضان والدعاء من فوقها أثناء الليل ، وقد حاولت بعض الدراسات الربط بين المئذنة المصرية ومنارة الإسكندرية لوجود شبة بين التكوين المعمارى لمنارة الإسكندرية ومآذن القرن الرابع عشر الميلادى وقد عارض " كريزويل" هذه النظرية ورتب المآذن ترتيبا تاريخيا وخرج من ذلك بنتيجة هامة أن المآذن المكونة من طابق مربع ثم مثمن ثم مستدير قد تطورت بالتدريج ولا علاقة لها بمنارة الإسكندرية وأن أول هذه المآذن هى مئذنة سلار وسنجر الجاولي (٧٠٣هـ / ١٣٠٣م).

تطورت المآذن المصرية بالتدريج تطورا طبيعيا حيث لم يكن لها فى البداية طراز محلى خاص وأقدم المآذن فى مصر يرجع إلى عام ( ٥٣هـ / ٦٧٣م ) فى جامع عمرو بن العاص بمدينة الفسطاط وظلت المآذن المصرية خاضعة للتأثيرات الوافدة من سوريا والمغرب حينا ومن العراق وفارس حينا أخر زمنا طويلا حتى أخذت المآذن صورتها المصرية الصميمة.

بدراسة التطور المعمارى للمآذن الأثرية فى مصر خلال العصور الإسلامية وجد أن المآذن فى العصر الطولونى ( ٢٥٤هـ-٢٩٢هـ /٨٦٨م-٩٠٥م) كانت عبارة عن عنصر معمارى منفصل عن المبنى الأثرى وذلك من خلال المئذنة الباقية من هذا العصر وهى مئذنة جامع أحمد بن طولون وترجع إلى عام (٢٦٣هـ-٢٦٥هـ/٨٧٦م-٨٧٩م) وتعتبر أقدم المآذن المصرية التى لا تزال باقية.

أما خلال العصر الفاطمى ( ٣٢٥هـ-٥٦٧هـ / ٩٦٩م-١١٧١م) فقد وجد طرازين للمآذن الأثرية الأول يتكون من طابقين السفلى ذو قطاع مربع يعلوه الطابق الثانى ذو قطاع مثمن أما الطراز الثانى يتكون من ثلاثة طوابق الأول مربع والأوسط إسطوانى يعلوه الطابق الثالث وهو مثمن القطاع وينتهى من أعلى بقبة ومن أمثلة هذه المآذن مئذنة الجامع الكبير بإسنا (٤٧٤هـ/١٠٨٠) ومئذنتا جامع الحاكم بأمر الله (٣٩٣هـ / ١٠٠٣م) .

وخلال العصر الأيوبى (٥٦٧هـ-٦٤٨هـ / ١١٧١م-١٢٥٠) كانت المئذنة تتكون من قاعدة مربعة يعلوها بدن مثمن مرتفع ويتوجه قبة مضلعة على هيئة المبخره وتختص القاهرة بهذا النوع من المآذن ذات المباخر ومن أمثلته مئذنة مدرسة الصالح نجم الدين أيوب (٦٤١هـ / ١٢٤٣م) ومئذنة المشهد الحسينى (٦٣٤هـ/١٢٣٧م) والتى أنشأها صلاح الدين الأيوبى على باب المشهد الحسينى .

أما فى العصر المملوكى البحرى (٦٤٨هـ-٧٨٤هـ/١٢٥٠م-١٣٨٢م) فقد خضع العدد الأكبر من المآذن إلى نظام المباخر ومن أمثلة ذلك مئذنة زاوية الهنود (٦٥٠هـ/١٢٥٠م) ثم ظهرت المآذن التى تنتهى بجوسق محمول على أعمدة وهو ما عرف بطراز (القلة) وهى المئذنة التى تبدأ بقاعدة مربعة ثم بدن مثمن ثم مثمن أصغر ثم منطقة مكونة من عدة أعمدة تحمل الجزء العلوى المشكل على هيئة غطاء قلة الشرب وقد عرف هذا التكوين باسم الجوسق ومن الأمثلة المبكرة لهذا الطراز مئذنة مسجد الطنبغا الماردانى (٧٣٩هـ/١٣٤٠م) ومئذنة مدرسة السلطان حسن (٧٦٤هـ /١٣٦٢م) وغيرهما .

وخلال العصر المملوكى الجركسى (٧٨٤هـ -٩٢١هـ / ١٣٨٢م-١٥١٧م) تكونت المئذنة من ثلاثة طوابق حيث تبدأ بقاعدة مربعة الشكل ثم بدن مثمن ويتوج هذا البدن شرفة محمولة على مقرنصات حجرية بدلايات وللشرفة جوانب من الحجر المفرغ بأشكال هندسية ونباتية ثم يتحول البدن إلى الشكل الإسطوانى ينتهى من أعلاه بمقرنصات تحمل الشرفة الثانية للمئذنة والطابق الثالث يكون على هيئة أعمدة من الرخام تحمل الجوسق الذى يشكل على هيئة طراز القلة ، ومن أمثلة المآذن فى العصر المملوكى الجركسى مئذنة خانقاه فرج بن برقوق (٨٠١هـ-٨١٣هـ/١٣٩٩م-١٤١٩م) ومئذنة المدرسة الأشرفية (٨٢٩هـ/١٤٢٥م) ومن أهم المميزات للمآذن الأثرية خلال العصر المملوكى الجركسى المآذن المزدوجة أو المتعددة الرؤوس والذى يعتبر طراز مصرى صميم لم تسبق إليه وشاعت هذه المآذن بمصر فى نهاية القرن التاسع الهجرى وأوائل القرن العاشر الهجرى ومن أمثلتها مئذنتا قانيباى الرماح بالقلعة (٩٠٨هـ) وبالناصرية بمنطقة السيدة زينب (٩١١هـ) وكذلك مئذنة مدرسة الغورى بالغورية بمنطقة الأزهر (٩٠٩هـ-٩١٠هـ/١٥٠٤م-١٥٠٥م) .

وبدراسة المآذن الأثرية خلال العصر العثمانى (٩٢٣هـ / ١٥١٧م) وجد أن المآذن أزداد ارتفاعها واتسمت بالنوع المتعدد الأضلاع الذى يقترب من الإسطوانى تعلوه قمة مخروطية مدببة بحيث تتخذ قمة المئذنة وبدنها شكل القلم الرصاص Pencil Point وتحيط بهذا البدن شرفتان أو ثلاثة قليلة البروز .

ومن خلال دراسة النظام الإنشائى للمآذن الأثرية نجد أن المئذنة وجدت إما متصلة بالمنشأ الأثرى وموجودة ضمن عناصره المعمارية أو منفصلة ومستقلة عنه وفى حالة اتصالها بالمنشأ الأثرى كانت تأخذ مواضع الأركان وذلك لمتانه الأساس فى هذه المواضع كما أتخذت المآذن موقعها فوق المدخل فى بعض الأحيان، ونتبين أن المئذنة تتكون من مكونات وعناصر معمارية هى القاعدة ومناطق الانتقال بالمآذن ثم الدخلات والفتحات والقمم التى تتوج المآذن الأثرية إلى جانب الشرفات ( الدورات – الأحواض)

بدراسة أساليب زخرفة المآذن الأثرية وجد استخدام عناصر زخرفية متعددة مثل الزخارف ذات الأشكال الدالية وزخرفه الجفت المضفور ووحدة المعين والسهم والوردة الثمانية والأعمدة المندمجة والجفت اللاعب

ذو الميمات والميمات والزخرفة باستخدام الأحجار الملونة والزخرفة بواسطة بلاطات القاشانى أو بقطع من الرخام (تلابيس) المشكل بزخارف غائرة محفورة ومملوءة بالمعجون الملون .

## ثانياً : جيولوجية مدينة القاهرة

من خلال الدراسة الجيولوجية لمدينة القاهرة حيث تقع مئذنة يشبك من مهدى موضوع الدراسة التطبيقية للرسالة تبين أنها تتبع التكوينات الصخرية لجبل المقطم ويمثل جبل المقطم مساحة صغيرة جداً تقع فى أقصى الشمال الغربى لهضبة المغرة بالصحراء الشرقية والمكونة من الحجر الجيرى وقد تكون جبل المقطم نتيجة للحركات الأرضية التى أعقبت ترسيب طبقاته وينقسم جبل المقطم طبوغرافياً إلى ثلاث هضاب تعرف بالهضبة السفلى والهضبة العليا والهضبة الوسطى وتتكون الهضبة السفلى والوسطى من صخور تكوين جبل المقطم الذى تغلب عليه صخور الحجر الجيرى والحجر الجيرى الدولوميتى والطباشيرى التابع لعصر الأيوسين الأوسط ويتكون سطح الهضبة الوسطى والجزء السفلى من الهضبة العليا من تكوين الجيوشى أما الهضبة العليا فتتكون أساساً من تكوين المعادى التابع لعصر الأيوسين العلوى والذى تغلب عليه الصخور الفتاتية والصخور الدولوميتية والجيرية ويغطى الجزء الشرقى والشمالى الشرقى منها صخور عصر الأوليجوسين والتى تعرف بتكوين الجبل الأحمر والتى تتكون من الحصى والحجر الرملى .

أما عن التتابع الطبقى لجبل المقطم فهو يشمل العديد من الطبقات وهذه الطبقات مرتبة من أعلى إلى أسفل هى رواسب الحقب الرباعى ، ثم عصر الأوليجوسين ويتضمن مكون الجبل الأحمر ثم عصر الأيوسين العلوى ويتضمن تكوين المعادى وتكوين الجيوشى ثم عصر الأيوسين الأوسط ويشمل ثلاثة وحدات صخرية وهى من أعلى إلى اسفل وحدة حجر البناء العلوى ووحدة صخور الجيزاهينسيس ثم وحدة حجر البناء السفلى و نستخلص من هذه الدراسة انتشار الصدوع والفواصل بالتكوينات الصخرية لجبل المقطم إلى جانب وجود طبقات سميكة من الطفلة متداخلة من الأحجار الجيرية الغنية أيضاً بالحفريات وأكاسيد الحديد مما يؤدى إلى التأثير على استقرار واتزان المبانى الأثرية المقامة فوقها بعناصرها المعمارية المختلفة ومنها المآذن الأثرية حيث تتعرض فى بعض الأحيان إلى هبوط غير منتظم يؤدى إلى وجود ميول قد تكون خطيرة بالإضافة إلى وجود شروخ وانفصالات قد تؤدى فى النهاية إلى حدوث إنهيارات .

## ثالثاً : النتائج الخاصة بدراسة مواد بناء المآذن الأثرية

تبين من خلال دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأحجار أنها تؤثر بشكل كبير فى مدى مقاومة الأحجار لعوامل التلف المختلفة فنجد أن خاصيتى المساميه Porosity والنفاذية Permeability تعتبران مؤشران على تلف وتحلل الأحجار حيث أنهما تتحكمان فى مقدار الماء الذى ينفذ إلى داخل الأحجار وبالتالى إتلافها وتنشيط عوامل التلف الأخرى مثل تبلور الأملاح والتلف الميكروبيولوجى وغيرها كما تعمل الخواص الميكانيكية للأحجار والتى تمثل تحمل الأحجار للاجهادات المختلفة الواقعة عليها على التحكم فى بقاء المبنى الأثرى دون انهيار وبحالة جيدة لأطول فترة ممكنة ومن ناحية أخرى فإن المواد والطرق المستخدمة فى عمليات العلاج والترميم والصيانة لابد وأن تتناسب مع الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأحجار .

بدراسة الإجهادات المسموح بها فى الإنشاء تبين أن الأحمال المؤثرة على المبانى الأثرية والإجهادات التى تنشأ عنها يجب أن تكون أقل بكثير من قوة تحمل الأحجار لهذه الإجهادات وتسمى النسبة بين قوة تحمل الأحجار وإجهادات التصميم بمعامل الأمان ونجد فى حالة الأحجار المستخدمة للأساسات يجب أن يتراوح معامل الإمان لها بين ١٥،٣٠ أما إذا استخدمت الأحجار فى أعمال البناء فيجب أن يتراوح معامل الأمان لها بين ٦،١٠ وذلك حتى لا تتعرض المآذن الأثرية أو المبانى الأثرية عامة لخطر الانهيار .

بدراسة تطور مواد البناء المستخدمة فى بناء المآذن الأثرية خلال العصور الإسلامية المختلفة أتضح أن الطوب اللبن كان مستخدما فى البداية وكان ذلك فى جامع عمرو بن العاص حيث كان يحتوى على مئذنة مشيده من الطوب اللبن ثم استخدم الطوب المحروق (الآجر) لبناء المآذن وذلك فى المئذنة الخاصة بجامع أحمد بن طولون والتى شيدت وقت بنائه ولكن لم تستمر هذا المئذنة طويلا ثم اعيد بنائها بالحجر الجيرى فى العصر المملوكى خلال عصر السلطان لاجين المملوكى (٦٩٦هـ / ١٢٦٩م ) وانتشر استخدام الطوب المحروق (الآجر) خلال العصر الفاطمى وما لبث أن بدأ يقل استخدامه تدريجيا حيث استخدم إلى جانبه الحجر الجيرى حيث نجد استخدام الطوب المحروق (الآجر) مع الحجر الجيرى فى جدران جامع الحاكم بأمر الله الذى يعود للفاطمى ثم انتشر استخدام الأحجار بعد ذلك خلال العصر المملوكى وبعده وهذا لم يمنع استخدام الطوب المحروق (الآجر) إلى جانبه أيضا فى بناء المآذن الأثرية .

تم استخدام الرخام فى عمل الأعمدة التى تحمل الجوسق فى قمم المآذن المملوكية الطراز كما استخدم فى عمل زخارف على الأسطح الخارجية للمآذن الأثرية على هيئة تلابيس من القطع الرخامية ، كما استخدمت الأخشاب فى بعض الأحيان لعمل شرفات المآذن أو فى عمل السياج الخشبى المحيط بهذه الشرفات كذلك فى قمم المآذن العثمانية والتى كسيت فى أغلب الأحيان بألواح من الرصاص كما استخدمت مونات الجبس والجير و القصروميل والحمره بالإضافة إلى الرمل بنسب مختلفة لبناء المآذن الأثرية .

## رابعا : النتائج الخاصة بعوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية

بدراسة عوامل ومظاهر تلف المآذن الأثرية تبين أن هناك عوامل متعددة أدت إلى تلف المآذن الأثرية ومنها العوامل الفيزيوكيميائية وتشمل الرطوبة بمصادرها المختلفة مثل الأمطار ومياه التكثف والمياه الأرضية وكذلك الحرارة وتبلور الأملاح وتأثير الرياح والتلوث الجوى حيث نجد أن الرطوبة تنتشر داخل الأحجار من خلال مسامها وتلعب دورا هاما فى تلف المآذن الأثرية حيث تعمل على إذابة الأملاح القابلة للذوبان ثم خلال عملية البخر تتحرك هذه الأملاح نحو السطح حيث تحدث عملية إعادة تبلور Re-Crystallization لها أسفل أسطح المآذن مباشرة أو تتزهر هذه الأملاح على السطح مما يؤدى إلى نشأة ضغوط موضعية وإجهادات تؤدى إلى تفكك وتفتت حبيبات الأحجار ومكوناتها المعدنية .

أما بالنسبة لتأثير مياه الأمطار على المآذن الأثرية بمدينة القاهرة فقد أتضح أن المعدل السنوى لهطول الأمطار على مدينة القاهرة معدل متوسط يبلغ ٣,٥سم ولكن هذا المعدل يعتبر ذو تأثير خطير على المآذن الأثرية بمدينة القاهرة وذلك بسبب التلوث الجوى حيث يمكن أن تتكون أحماض معدنية مثل حمض الكبريتيك والذى يؤدى إلى تلف أحجار ومواد بناء المآذن الأثرية .

أما تأثير درجة الحرارة على تلف المآذن الأثرية بمدينة القاهرة فإنه بالرجوع إلى قياسات وبيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية لمتوسط درجة الحرارة بمدينة القاهرة خلال ٣١ عاماً (من عام ١٩٦٨م - حتى ١٩٩٩م) وجد أن المعدل السنوى لدرجة الحرارة العظمى هو ٢٩°م والمعدل السنوى لدرجة الحرارة الصغرى ١٣م° أما المعدل السنوى لدرجة الحرارة اليومية فبلغ ٢٣°م ونجد تغيرات كبيرة فى درجات الحرارة سواء اليومية أو الشهرية أو الموسمية وهذه التغيرات تساهم بشكل كبير فى تلف المآذن الأثرية وذلك من حيث التمدد الحرارى لمواد البناء المختلفة للمآذن الأثرية ودورها فى تقادم مواد البناء وتحللها إلى جانب تأثير الحرارة والرطوبة النسبية على تبلور وإعادة تبلور الأملاح وما ينشأ عنها من ضغوط وإجهادات .

تؤثر أيضاً المياه الأرضية بشكل كبير على تلف المآذن الأثرية حيث أن ارتفاع منسوب المياه فى النيل بعد إنشاء السد العالى أدى إلى وصول المياه الأرضية إلى أساسات الكثير من المبانى الأثرية ومآذنها مما أدى إلى ضعف وتلف الاساسات وتحلل وتفكك التربة الحاملة لها وتفاقمت المشكلة وازدادت حدتها بسبب تسرب مياه الصرف الصحى من شبكاتها المتهالكة كذلك نجد أن استهلاك مياه الشرب بالقاهرة بلغ حوالى ٤ مليون متر مكعب يومياً بينما لا تستوعب شبكة الصرف الصحى إلا حوالى ٢ مليون متر مكعب يومياً ومعنى ذلك أن حوالى ٢ مليون متر مكعب من المياه يتسرب إلى التربة مما أدى إلى الإسهام فى تلف الاساسات والتربة الحاملة للمبانى الأثرية .

بدراسة تأثير الأملاح على المآذن أتضح أن تلف المآذن الأثرية بفعل تبلور الأملاح أتضح أنها تسبب تلفها حيث تتبلور الأملاح فى المسام والفجوات الموجودة فى الأحجار والمونات كما تتزهر هذه الأملاح على السطح وتؤدى إلى تفككه وتآكله .

بدراسة قياسات سرعة واتجاه الرياح من خلال بيانات الهيئة العامة للأرصاد والجوية أتضح أنها رياح سطحية جنوبية غربية فى فصل الشتاء ويبلغ متوسط سرعتها ١٦ عقدة/ثانية ورياح سطحية شمالية غربية فى فصل الصيف ويبلغ متوسط سرعتها ١٩,٥ عقدة/ثانية أما فى فصل الربيع فالرياح سطحية شمالية إلى شمالية شرقية وتبلغ سرعتها ٥,٩ عقدة /ثانية وفى فصل الخريف نجد الرياح سطحية شمالية إلى شمالية شرقية أيضاً ويبلغ متوسط سرعتها ١٣ عقدة/ثانية وبذلك يتضح تنوع واختلاف اتجاهات الرياح وسرعتها خلال الفصول الأربعة مما يؤدى إلى وجود تأثير هام لها فى ظل وجود تلوث الهواء بمدينة القاهرة إلى جانب وجود الرطوبة بمصادرها المختلفة التى تكون الأحماض الضارة التى تسبب تآكل الأسطح الحجرية وتتلف المآذن الأثرية .

بدارسة تأثير التلوث الجوى بمدينة القاهرة والتى تعتبر من المدن الصناعية أتضح أنه يؤثر بشكل كبير على المآذن الأثرية حيث تتكون طبقة سوداء على أسطحها وهذه الطبقة السوداء مختلفة المكونات حيث قد تحتوى على الجبس وأكاسيد الحديد والمواد الكربونية وقد توجد نسب ضئيلة من عناصر أخرى مثل الباريوم والنحاس والزنك ويتراوح سمكها فى أغلب الأحيان من ٨ ميكرون إلى ١٢ ميكرون وقد تصل إلى بضعة

ملليمترات وتؤدى هذه الطبقة السوداء الداكنة إلى تشوية أسطح المآذن الأثرية بمدينة القاهرة وقد تؤدى إلى تنشيط التفاعلات الكيميائية على أسطحها.

تبين من خلال دراسة تأثير التربة على المآذن الأثرية أنها قد تؤدى إلى عدم إتزانها لأسباب متعددة منها زيادة محتوى الرطوبة فى التربة الجافة والذى قد يؤدى إلى انتفاش طبقات الطين وبالتالى التأثير على الاساسات واتزان المئذنة كما أن اختلاف البيئة المحيطة بالمئذنة التى قد تؤدى إلى زيادة أو نقصان أى مركب كيميائى معدنى أو عضوى قد يغير من تصرف التربة وبالتالى التأثير على المآذن الأثرية .

ومن خلال دراسة الأحمال وتأثيرها على المآذن الأثرية تبين أن المآذن الأثرية والمبانى بشكل عام تتعرض لنوعين من الأحمال هما الأحمال الرأسية وتضم الأحمال الدائمة والأحمال الحية وكذلك الأحمال الأفقية التى تشمل أحمال الرياح الزلازل ويتم حساب هذه الأحمال من خلال معادلات رياضية ويجب ألا تتعدى الإجهادات التى تتعرض لها المآذن الأثرية هذه الأحمال .

بدراسة تأثير الزلازل على المآذن الأثرية وجد أنها تتعرض إلى التلف بفعل الزلازل وقد يؤدى ذلك إلى انهيار المآذن حيث تتميز المآذن بتكوين معمارى خاص من حيث الارتفاع وصغر أقطارها بالنسبة لارتفاعها وقد تتعرض بعض أجزائها للانهيار مثل منطقة الجوسق والأعمدة الحاملة له فى المآذن المملوكية كما أن ميول المآذن ترجع فى أحيان كثيرة إلى تأثير الزلازل على التربة و الأساسات الحاملة لها .

تبين أن المآذن الأثرية تتعرض للتلف بفعل العوامل البيولوجية وخاصة المآذن المستقلة أو المنفصلة عن المبانى الأثرية والمبنية مباشرة على التربة بما فيها من كائنات حية دقيقة مثل البكتريا والفطريات والأشنة وتسبب تلف الأحجار والمونات ومواد البناء بفعل الأحماض التى تفرزها وكذلك تسبب تشوه السطح الخارجى للمآذن الأثرية .

بدراسة العامل البشرى وجد أنه يؤدى إلى حدوث بعض مظاهر التلف للمآذن الأثرية منها أخطاء تصميميه وإنشائية خلال عمليات بناء المآذن إلى جانب الترميم الخاطئ وحركة النقل والمواصلات وكذلك الأعداد الكبيرة للسائحين والزائرين بالإضافة إلى التعديات والاشغالات للمآذن الأثرية وعدم صيانتها دوريا .

من خلال دراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية تبين ضرورة دراسة الوضع الراهن لكل مئذنة على حدة من خلال بعض الدراسات الأولية التى تحدد بشكل كبير خطة الترميم والصيانة التى سيتم إعدادها لهذه المآذن ومن هذه الدراسات التسجيل والتوثيق الأثرى للوضع الراهن للمآذن الأثرية والرصد المساحى لتحديد مدى رأسية وإتزان المآذن الأثرية وإجراء الفحوص والتحاليل لمواد بناءها ودراسات التربة والأساسات بالإضافة إلى التحليل الإنشائى للمآذن الأثرية باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلى.

بدراسة طرق علاج وترميم وصيانة المآذن الأثرية تبين أنها تشمل العديد من العمليات طبقا لحالة المئذنة المراد ترميمها وصيانتها ومن هذه العمليات خفض منسوب المياه الجوفية وأعمال الترميم والتدعيم الإنشائى

للمآذن الأثرية ومن أمثلتها علاج التربة ذات المشاكل مثل التربة القابلة للانهيار والتربة القابلة للانتفاش والتربة الطينية اللينة وتربة الردم وكذلك تقوية وتدعيم الأساسات بواسطة الخوازيق الأبرية Micro Piles وكذلك أعمال الترميم المعمارى ومن أمثلتها استكمال الأجزاء الناقصة والمفقودة من التكوين المعمارى للمآذن الأثرية وكذلك أعمال الفك وإعادة البناء للمآذن واستبدال الكتل الحجرية التالفة بها واستكمال الأجزاء الناقصة الحاملة للزخارف والنقوش ، بالإضافة إلى أعمال الترميم الدقيق للمآذن الأثرية وتشمل عمليات التنظيف لأسطح المآذن الأثرية وعمليات العزل الأفقى لأساسات وجدران المآذن الأثرية واستخلاص وإزالة الأملاح وتقوية وعزل الأسطح الحجرية لها لصيانتها من التلف .

## خامسا : النتائج الخاصة بالجانب التجريبى والتطبيقى لعلاج وترميم وصيانة مئذنة يشبك من مهدى

تبين من خلال عمليات التسجيل والتوثيق الأثرى للوضع الراهن للمئذنة أنها تعانى من مظاهر تلف متعددة منها فقدان الجزء العلوى من المئذنة ( قمة المئذنة) وتآكل وتفتت الطبقات السطحية وخاصة فى منطقة القاعدة التى تعانى أيضا من وجود فواصل بين المداميك بسبب فقدان المونة الموجودة فى العراميس وطبقات كثيفة من السناج بفعل حرق أكوام القمامة والمهملات بجوار المئذنة وخاصة فى منطقة القاعدة وبداخل الساباط (الممر المقبى) مع وجود أكوام كثيفة من المهملات والمخلفات تحيط بالمئذنة مما يعتبر تعديا وإتلافا بشريا للمئذنة بالإضافة إلى وجود تآكل وفقدان بشكل جزئى فى الزخارف الحجرية المنفذه بالنحت البارز على السطح الخارجى لبدن المئذنة وتبلور الأملاح وتزهرها على السطح خاصة فى الأجزاء السفلية من المئذنة إلى جانب ذلك توجد طبقات من الأتربة والعوالق والتكلسات على الأسطح الخارجية للمئذنة مع وجود فقدان فى بعض الكتل الحجرية اسفل باب المئذنة كما يوجد مبنى دور واحد ذو سقف من الصفيح ملاصق لأحد أضلاعها ويمثل تعديا عليها .

من خلال عملية الرصد المساحى للمئذنة وبتحليل البيانات والأرصاد التى تم الحصول عليها تبين أن الجزء ذو الشكل الثمانى من المئذنة به إزاحة عن قاعدة المئذنة المربعة الشكل بمقدار ٣,٥ سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى وكذلك إزاحة مقدارها ٢,١ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى ونجد أن محصلة هذه الإزاحات تبلغ ٤,١ سم فى الاتجاه الشمالى ، كما وجد أن الجزء الإسطوانى من المئذنة به إزاحة عن الجزء الثمانى للمئذنة بمقدار ٢,٦سم فى الاتجاه الشمالى الشرقى وإزاحة مقدارها ١,٥ سم فى الاتجاه الشمالى الغربى وتبلغ محصلة هذه الإزاحات ٣,٢سم فى الاتجاه الشمالى . كان ذلك فيما يتعلق بالازاحات أما الميول فقد كانت طفيفة فى المئذنة حيث وجد أن الجزء الثانى الثمانى الشكل للمئذنة يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 00° 37′ 21″ وذلك فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 00° 34′ 01″ فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية وبمحصلة مقدارها 00° 50′ 31.02″ بزاوية 68° 08′ 12″ على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى ، كما وجد أن الجزء الثانى الإسطوانى يميل بزاوية على الاتجاه الرأسى مقدارها 00° 56′ 03″ فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، وبزاوية مقدارها 00° 53′ 22″ على الاتجاه الرأسى فى الاتجاه العمودى على الواجهة الجنوبية الغربية ، بمحصلة مقدراها 01° 14′ 23.16″ بزاوية 72° 23′ 57″ على اتجاه الشمال فى الاتجاه الشمالى الشرقى ، ويتضح مما سبق أن ميول المئذنة طفيفة ولا تؤثر على إتزانها واستقرارها إنشائيا وهذه الميول الطفيفة ترجع إلى اتصال المئذنة المباشر بالتربة المكونة من طبقات

الردم المتباين فى خواصه وتركيبه وبالتالى سلوكه الإنشائى وذلك حتى عمق يتعدى خمسه أمتار طبقا لنتائج الجسات التى تم إجرائها بالموقع ولذلك يرجح أن تكون هذه الميول بسبب هبوط غير منتظم طفيف حدث للمئذنة .

تبين من خلال مراقبة التغير فى ميول المئذنة ومدى ثباتها مساحيا بواسطة جهاز Differantial Micro – Accelerometer Tiltmeter أن التغير الديناميكى فى الحركة الأفقية لمئذنة يشبك من مهدى تغير طفيف ولا يؤثر على إتزان المئذنة ورأسيتها فنجد فى الاتجاه(X) ( اتجاه شمال شرق –جنوب غرب ) أن أقصى تغير ديناميكى فى الحركة الأفقية بلغ (٠,٩) من الدرجة بالتقريب أما فى الاتجاه (Y) (اتجاه شمال غرب – جنوب شرق) فقد بلغ أقصى تغير ديناميكى فى الحركة الأفقية (١,١٢) درجة وهذه التغيرات تغيرات طفيفة تمثل حركة تأرجحية عادية بالنسبة لارتفاع المئذنة وأقطار الأجزاء المختلفة منها وتأثرها بحركة الرياح وهذا لا يؤثر على ثبات المئذنة وإتزانها التى تعتبر مستقرة على حالتها الراهنة ويرجع هذا الاستقرار والثبات إلى عمق اساسات المئذنة الذى يبلغ ٣,٣مترا طبقا للدراسة التى تم إجرائها للكشف عن الاساسات كما أن الطبقات الصخرية الصلبة تقع على عمق من ٥,٤ حتى ٥,٧ مترا من مستوى سطح الأرض طبقا لدراسات التربة التى تم إجرائها بموقع المئذنة كما أن الممر النافذ ذو السقف المقبى بقاعدة المئذنة يؤدى إلى التوزيع المنتظم للاحمال الواقعة على التربة بفعل وزن المئذنة مما يؤدى إلى ثباتها وإتزانها.

من خلال دراسة الحجر الجيرى المستخدم لبناء مئذنة يشبك من مهدى بواسطة الميكروسكوب المستقطب تبين أنه ملئ بحفريات النيموليت Nummulites والفورامنيفرا Foraminifera وهو مكون بشكل أساسى من معدن الكالسيت دقيق التحبب Fine Grained Calcite مع انتشار تجمعات من أكاسيد الحديد والمعادن الطينية إلى جانب وجود الطحالب Algae مختلطة مع الحفريات Fossils بالإضافة إلى ذلك توجد بعض الحبيبات الدقيقة من معدن الكوارتز $SiO_2$ ، ويرجع وجود هذه المكونات فى الأحجار بسبب بناء المئذنة من أحجار مصادرها المحاجر الموجودة بمدينة القاهرة مثل محاجر جبل المقطم ومحاجر طره والمعصرة ومصر القديمة وحلوان والتى تتميز بوجود هذه المكونات المعدنية والعضوية ، بالإضافة إلى وجود أملاح بالقطاع حدثت لها عملية إذابة أثناء عمل القطاع وتركت فجوات فى أماكنها ويعتبر وجود أكاسيد الحديد والحفريات والطحالب من الأسباب التى تؤدى إلى سرعة تلف وتآكل الأحجار على عكس الحجر الجيرى الخالى من هذه المكونات .

تبين من خلال دراسة وفحص الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى باستخدام الميكروسكوب الإلكترونى الماسح Scanning Electron Microscope [SEM] أن الحجر تعرض إلى التفكك والتآكل بفعل الضغوط الموضعية والإجهادات الناشئة عن تبلور الأملاح بين حبيباتها مما يؤدى إلى فقدان المادة الرابطة بين الحبيبات والتهشم والتشوه الشكلى للبلورات بفعل ذوبان بعض مكوناتها كما أن نزح الحفريات وترك أماكنها فارغة وكذلك إذابة أكاسيد الحديد وإحلالها بعد تحركها لهذه الأماكن الفارغة تؤدى أيضا إلى نشأة ضغوط تؤدى فى النهاية إلى تلف وتآكل الأحجار إلى جانب تأثير الرطوبة المتلف فى وجود التلوث الجوى فى جو القاهرة ذات الطابع الصناعى .

تبين بالتحليل والدراسة لمواد البناء والأملاح لمئذنة يشبك من مهدى بواسطة حيود الأشعة السينية (XRD) أن الحجر الجيرى المستخدم لبناء المئذنة مكون بشكل أساسى من معدن الكالسيت $CaCO_3$ برقم كارت ( 5-0586) بالإضافة إلى وجود معدن الهاليت NaCl برقم كارت (5-0628) ومعدن الكوارتز $SiO_2$ برقم كارت (5-0490) ، كما أتضح أن الأملاح الموجودة والمتبلورة بين مكونات الأحجار وعلى أسطحها مكونة بشكل أساسى من ملح الهاليت Na l رقم الكارت(5-0628) وملح الجبس $CaSO_4.2H_2O$ رقم الكارت (6-0046) ، ويؤكد ذلك أرتفاع نسبة انيونات الكلور $Cl^-$ والكبريتات $SO_4^{--}$ والتى تم حسابها خلال دراسات التربة والمياه الجوفية بموقع المئذنة مما يشير إلى أن مصدرها التربة والمياه الجوفية ، أما المونة المستخدمة لبناء المئذنة فقد أحتوت على مكونات مختلفة حيث تكونت بصفة أساسية من معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ رقم الكارت (6-0046) ومعدن الكالسيت ، رقم الكارت (5-0586) ومعدن الدولوميت $Ca, Mg(CO_3)_2$ برقم كارت (11-078) وهذا يرجح تكون المونة بشكل أساسى من معدن الجبس بالإضافة إلى مسحوق الحجر الجيرى من حجر جيرى دولوميتى ، ويؤكد ذلك ما تم فحصه من عينات الحجر الجيرى الخاصة بالمئذنة بواسطة الميكروسكوب المستقطب حيث وجدت بلورات معينية الشكل من معدن الدولوميت ، وربما احتوت على الجير المطفأ $Ca(OH)_2$ هيدروكسيد الكالسيوم والذى تحول إلى كربونات كالسيوم مع الوقت $CaCO_3$ عن طريق امتصاص غاز $CO_2$ و وجد معدن الكوارتز $SiO_2$ رقم الكارت (5-0490) كما وجد ملح الهاليت كعامل تلف NaCl برقم كارت (5-0628) بين مكونات المونة .

تم تعيين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمواد بناء المئذنة ومن حيث الخواص الفيزيائية فقد تم تعيينها للحجر الجيرى المستخدم لبناء المئذنة حيث بلغت قيمة الكثافة Density (٢,١٤ جم/سم٣) كما بلغت قيمة امتصاص الماء (٩,١٨ %) أما المسامية فقد بلغت (١٩,٤٨%) ، وتشير هذه النتائج إلى ارتفاع نسبة المسامية و امتصاص الماء مما كان لها اكبر تأثير على تلف كتل الأحجار بالمئذنة وخاصا فى المداميك السفلية القريبة من التربة ، كما تم تعيين الخواص الميكانيكية للحجر الجيرى باستخدام الطريقة الميكانيكية وباستخدام جهاز الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Technique حيث بلغت قوة تحمل الضغط للأحجار (٢٧٠كجم/سم٢) كما بلغت قوة تحمل الشد (٢٤كجم/سم٢) كما تم قياس محتوى الرطوبة لأحجار المئذنة والتى اختلفت من مكان لآخر فى الجدار حيث بلغت أعلى قيمة لها ٧,٨% وذلك فى المداميك السفلى الملاصقة للتربة بقاعدة المئذنة وأقل قيمة كانت ٠,٤% فى المستويات العليا من المئذنة ، ويشير ذلك إلى وجود محتوى رطوبة مرتفع بالتربة والتى تغطى أيضا عدد من المداميك السفلية بقاعدة المئذنة وهذه المياه مصدرها مياه الصرف الصحى الموجودة بالتربة من المساكن العشوائية المحيطة بالمئذنة حيث لا توجد شبكة للصرف الصحى بالمنطقة .

تم إجراء دراسة ميكروبيولوجية للأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى للتعرف على الكائنات الحية الدقيقة الموجودة حيث تم التعرف على البكتريا الموجودة وهى من البكتريا ذات الشكل الكروى Cocci Bacteria وهى متجمعة فى أشكال رباعية مع بعضها البعض وهى موجبة لصبغة جرام ومن خلال دراسة الصفات المورفولوجية للمزارع الفطرية المعزولة تم التعرف عن نوعين من الفطريات هما فطر الاسبيرجيللس Sapergillus SP. وفطر البنسيليوم Pencillium SP. وبإجراء العد الكلى للبكتريا والفطريات والخمائر أتضح أن العد الكلى للفطريات والخمائر (١٢×١٠ ٣ خلية /جرام) والعد الكلى للبكتريا

(٩٨×١٠ ⁴ خلية / جرام) ولذلك لابد من صيانة وحماية المئذنة من هذه الكائنات الحية الدقيقة لما تسببه من تشويه وتآكل لمواد البناء .

تبين من خلال الدراسات الخاصة بالتربة والأساسات ورصد منسوب المياه الجوفية أن التربة بهذا الموقع الخاص بالمئذنة تتكون من طبقة من الردم (طمى رملى جيرى وكسر حجر) تستمر من منسوب صفر الجسات التى تم عملها حتى عمق ١٥ مترا وحتى عمق يتراوح ما بين ٥,٤ مترا ، ٥,٧ مترا ثم تظهر طبقة من الحجر الجيرى وتمتد هذه التكوينات الصخرية حتى نهاية الجسات على عمق ١٥ مترا من منسوب الأرض الطبيعية بمواقع الجسات الثلاثة التى تم عملها . وبالكشف على الأساسات تبين امتداد الجدار الحامل للمئذنة حتى عمق ٣,٣متر من منسوب الأرض الطبيعية ووجد أن أساسات المئذنة عبارة عن حوائط حاملة من الحجر الجيرى بنفس سمك جدار المئذنة ، وقد أدى ذلك إلى ثبات المئذنة وإتزانها إلى حد كبير بسبب عمق الأساسات وقربها من الطبقة الصخرية الصلبة بالإضافة إلى وجود الممر النافذ ذو السقف المقبى بقاعدة المئذنة والذى له تأثير كبير فى توزيع الأحمال الواقعة من المئذنة على التربة ، وبإجراء قياس منسوب المياه الجوفية فى موقع المئذنة بالبيزومترات تبين ثبات منسوب المياه الجوفية عند عمق ٣,٨متر من منسوب الأرض الطبيعية وكذلك على عمق ٣,٢ مترا بالقرب من المئذنة وبإجراء التحليل الكيميائى للمياه الجوفية بموقع المئذنة تبين أرتفاع نسبة ملح الهاليت NaCl بها مما يفسر وجود هذا الملح متزهرا على سطح المئذنة وبين حبيبات الأحجار مما أدى إلى تلف وتآكل هذه الأسطح خاصة فى منطقة قاعدة المئذنة القريبة من التربة. كما تم دراسة طبيعة وخواص التربة الحاملة للمئذنة بواسطة أخذ جستين بجوار المئذنة بعمق ٣ أمتار لكل منها حيث تم إجراء تحليل ميكانيكى لتعيين التوزيع الحجمى لحبيبات التربة مع تحديد القوام للتربة كما تم تعيين حد السيولة وحد اللدونة وحد الانكماش للتربة وذلك للعينات الخاصة بكل قطاع من القطاعين حيث تم تقسيمها إلى عينات حسب اختلاف التربة من جزء إلى آخر فى القطاع كما تم تعيين محتوى التربة من كربونات الكالسيوم وتركيز الأملاح الكلية الذائبة وتعيين الرقم الهيدروجينى للتربة (PH) من خلال معلق التربة (١:٥) بالإضافة إلى ذلك تم قياس تركيز أيونات الأملاح سواء الكاتيونات أو الأنيونات الذائبة فى التربة بوحدات الجزء فى المليون (ppm) والنتائج كاملة موضحة بمتن الرسالة ونستخلص من هذه الدراسة أن التربة الحاملة لمئذنة يشبك من مهدى هى عبارة عن تربة ردم تتباين فى خواصها فى الطبقات المختلفة منها ولا يوجد تجانس بينها وبالتالى يختلف السلوك الإنشائى لهذه التربة من طبقة إلى أخرى .

تبين من خلال التحليل الإنشائى لمئذنة يشبك من مهدى بمسجد الإمام الليث باستخدام النماذج الرقمية للحاسب الآلى و إجراء دراسة للإجهادات التى تتعرض لها تحت تأثير الحد الأدنى من الأحمال الرأسية والأحمال الأفقية أن هناك إجهادات ضغط يبلغ أقصى مدى لها ١٧,٦كجم/سم٢ أما تحت تأثير الحد الأقصى من الأحمال الرأسية والأفقية فتوجد أحمال ضغط تبلغ ٣,٢كجم/سم٢ وأحمال شد تبلغ ٩,٦ كجم/سم٢ وهذه الأحمال بالنسبة للأجزاء الممثلة بعناصر قشرية Shell Elements وهى للمئذنة بأكملها فيما عدامنطقة القاعدة أما منطقة القاعدة فتتعرض لحد أدنى من الأحمال الرأسية والأفقية حيث تتأثر بقوة وإجهاد ضغط يبلغ ٢٨كجم/سم٢ أما فى حالة الحد الأقصى من الأحمال الرأسية والأفقية فتتعرض القاعدة لإجهاد ضغط يبلغ ٥,١ كجم/سم٢ وإجهاد شد يبلغ ٨,٥ كجم/سم٢ ومن خلال مقارنة هذه الإجهادات بقدرة المئذنة نجد أن الأحجار المبنية تتحمل قوة ضغط أكبر من ذلك بكثير وتبلغ ٢٧٠ كجم/سم٢ قوة شد تبلغ كجم/ سم٢ وبذلك نجد أن الإجهادات التى

قد تتعرض لها المئذنة آمنة وتستطيع المئذنة تحملها ولذلك فهى تعتبر آمنة ومستقرة ومتزنة إنشائيا وبدراسة التحليل الإنشائى للمئذنة فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة أتضح أن الإجهادات القصوى التى ستتعرض لها المئذنة فى هذه الحالة تعتبر صغيرة وغير مؤثرة على قوة تحمل المئذنة وثباتها ولذلك وجد من خلال الدراسة أن عملية استكمال المئذنة وقمتها لن يؤثر على ثبات المئذنة واتزانها إنشائيا .

تم إجراء دراسات للمحيط الأثرى لمئذنة يشبك من مهدى حيث تم إجراء الدراسات التخطيطية والعمرانية والتى شملت دراسة محاور الحركة الرئيسية والفرعية المؤدية إلى المئذنة ودراسة حالة شبكات المرافق والخدمات العامة بالمنطقة وضمت دراسة محاور الحركة أنواع الطرق حيث تبين أن هناك طرق محورية تتفرع منها شوارع ضيقة وحارات بشكل شبكى عشوائى أما بالنسبة لحالات الطرق فهى غير ممهدة وخاصة الشارع الممتد أمام الواجهة الرئيسية لمسجد الأمام الليث وهو شارع الغفارى ونجد أنه طريق ترابى غير ممهد وكذلك شارع سيدى عقبة الموازى لشارع الإمام الليث ومن الطرق والمحاور الرئيسية الجيدة شارع عين الصيرة وشارع الإمام الشافعى حيث أنهما مرصوفان بالاسفلت وممهدان ويعتبر شارعى عين الصيرة والإمام الشافعى المحورين الرئيسيين للوصول إلى المئذنة أما عن الكثافة المرورية فتتركز فى المحوريين الرئيسيين السابق ذكرهما أما شارعى الغفارى والإمام الليث فلا توجد فيهما كثافة مرورية وبالنسبة للمرافق العامة فالمنطقة بها شبكة داخلية للإمداد بالمياه تخدم المبانى السكنية الموجودة بمنطقتى الإمام الشافعى والإمام الليث ولا توجد شبكة قريبة لإطفاء الحريق من المئذنة أما شبكة الصرف الصحى فلا توجد شبكة فى منطقة المئذنة ويتم الصرف عن طريق نظام الآبار مما يساهم فى تلف المئذنة بفعل مياه الصرف الصحى ولا يوجد نظام أو وسائل للتخلص من القمامة والنفايات الصلبة والخدمات العامة المتاحة قليلة تتمثل فى مركز شباب بمنطقة الإمام الليث وبعض المساجد الأهلية وتوجد مكتبة ونادى للطفل بالقرب من منطقة المئذنة وغير مستعملة الآن لهذا الغرض أما عن وسائل النقل والمواصلات فتوجد محطتين للأتوبيس هما محطة الإمام الليث على شارع عين الصيرة ومحطة الإمام الشافعى أمام مسجد وضريح الإمام الشافعى.
أما عن دراسات الكتلة البنائية بالمحيط البيئى للمئذنة فنجد مجموعة من المبانى الأثرية بالمنطقة مثل مسجد الإمام الليث ومدافن العائلة المالكة ومسجد ضريح الإمام الشافعى وزاوية زين الدين يوسف كما توجد مجموعة من المبانى العشوائية أغلبها رديئة من حيث أسلوب البناء والتصميم المعمارى وبعضها متوسط وأغلبها حالته الإنشائية سيئة حيث بنيت على أساسات شريطية غير عميقة بحوائط حاملة بدون أعمدة خرسانية وتتنوع ارتفاعات هذه المبانى ما بين دور واحد ودورين وثلاثة أدوار .

تم إجراء دراسة تجريبية معملية لتنظيف وإزالة السناج نظرا لوجودة بكثافة فى منطقة قاعدة مئذنة يشبك من مهدى والممر النافذ الموجود فى منطقة القاعدة لاختيار افضل الطرق والمواد لتطبيقها وقد تم التوصل إلى إمكانية إزالة طبقات السناج غير الكثيفة بالمئذنة باستخدام المحلول (A) المكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والأسيتون والتراى كلورو إيثيلين بالنسب ١:٢ :١:٢ على الترتيب أو استخدام المحلول (D) المكون من الطولولين والأسيتون بنسبة ٢:١ على الترتيب حسب الحالة ودرجة إلتصاق طبقة السناج بالسطح الحجرى للمئذنة أما الأماكن القوية من المئذنة والتى تحتوى على طبقة كثيفة من السناج فيمكن استخدام كمادة مورا معها وهى تتكون من النسب الآتية :

٦٠ جرام بيكربونات أمونيوم

٦٠ جرام بيكربونات صوديوم

٢٥ جرام Ethylene Di - Amine Tetra - Acetic Acid [EDTA]

١٠ جرام مطهر فطرى

٦٠ جرام كربوكسى ميثيل سليولوز .

فى لتر من الماء النقى الدافئ وبعد التنظيف يتم إزالة مكونات الكمادة ميكانيكيا بحرص مع شطف السطح جيدا بقليل من الماء النقى لإزالة بقايا مكونات الكمادة .

تم إجراء دراسة تجريبية معملية لتقييم المواد المستخدمة فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بمئذنة يشبك من مهدى لاختيار أنسبها فى تقوية وعزل الأحجار والمونات بالمئذنة ، والتى تعرضت للتلف بفعل عوامل التلف المختلفة حيث تم إعداد عينات من الحجر الجيرى المستخدم لبناء مئذنة يشبك من مهدى وكذلك إعداد عشرة مكونات من المونات لإختبار مدى كفاءة وتأثير مواد التقوية والعزل عليها إحداها وتحمل الرقم (١٠) تمثل نفس مكونات مونة بناء مئذنة يشبك من مهدى وتم اختيار عشرة مواد تقوية وعزل متنوعة من حيث تركيبها الكيميائى ما بين مركبات الأكريلك والسيليكات والسيلانات والسيلوكسانات وكذلك متنوعة من حيث مذيباتها حيث يستخدم بعضها مع المذيبات العضوية وبعضها كمستحلب مع الماء بدرجات تخفيف مناسبة وهذه المواد هى :

1- Tetra Ethoxy Silane ( Ethyl Silicate )
2- Primal WS 24
3- Dispersion K6 Glanz
4- Methyl Tri Methoxy Silane Dow Corning Z (6070)
5-Poly Methyl Hydro Siloxane
6- Wacker BS 1306
7-Wacker SMK 550
8- Paraloid B 44
9- Gypstop – P17
10- Silo 111

وقد استخدمت هذه المواد فى معالجة عينات الحجر الجيرى الخاصة بمئذنة يشبك من مهدى كما تم اختيار ستة مواد منها تناسب التطبيق على عينات ومكونات المونات العشرة وهذه المواد هى :-

1- Primal WS 24
2- Dispersion K6 Glanz
3- Wacker BS 1306
4- Methyl Tri Methoxy Silane – Dow Corning Z (6070)
5- Poly Methyl Hydro Siloxane
6- Ethyl Silicate (Tetra Ethoxy Silane)

وقد تبين من خلال هذه الدراسة أن مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أعطت أفضل النتائج من خلال تقليل نسبة امتصاص الماء والمسامية إلى أدنى درجة مما يجعلها ذات كفاءة عالية فى عزل أسطح أحجار مئذنة يشبك من مهدى ضد الرطوبة الجوية تليها مادة Silo111 ثم مادة Methyl Tri Methoxy Silane أما تقوية أحجار مئذنة يشبك من مهدى فقد أعطت مادة Ethyl Silicate (Tetra Ethoxy Silane) افضل النتائج من حيث تحسين الخواص الميكانيكية المتمثلة فى قوة تحمل الضغط وقوة تحمل الشد تليها مادة Silo111 ثم مادة Poly methyl Hydro Siloxane ولذلك فقد تم التوصل إلى أن افضل مادة لتقوية

أحجار مئذنة يشبك من مهدى هى مادة Ethyl Silicate وافضل مادة لعزل أسطح أحجار المئذنة هى مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أما إذا ما أردنا تحقيق وظيفتى التقوية والعزل للأحجار فيمكن استخدام مركب Silo111 وبالنسبة للعزل الافقى لجدران مئذنة يشبك من مهدى عن مصادر الرطوبة الأرضية فقد أعطت مادة Wacker SMK550 والمكونة من مستحلب من السيلان والسيلوكسان أفضل النتائج من حيث خفض نسبة امتصاص الماء والمسامية وتحقيق خاصية المنع للماء وهى مادة تستخدم على نطاق واسع فى عمليات عزل الأساسات والجدران عن مصادر الرطوبة .
أما بالنسبة للمونات فقد تبين أن أفضل المونات العشرة التى تم إعدادها من حيث خواصها الفيزيائية والميكانيكية هى المونة رقم (٨) والمكونة من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الطوب الأحمر بنسبة ١:٢:٣ على الترتيب ثم المونة رقم (٧) وتتكون من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ١:٢:٣ على الترتيب أما من حيث تأثير مواد التقوية الستة عليها فقد أعطت مادة Ethyl Silicate أفضل النتائج من حيث تقوية البنية الداخلية للمونات والربط بين حبيباتها كما أعطت مادة Poly Methyl Hydro Siloxane أفضل النتائج للعزل حيث انخفضت قيم امتصاص الماء والمسامية إلى أدنى قيمة من بين المواد المختبرة تليها مادة ميثيل تراى ميثوكسى سيلان Methyl Tri Methoxy Silane .

تبين من خلال نتائج التحليل الإنشائى للمئذنة أنها آمنة إنشائيا بحالتها الراهنة ولا يؤثر فقدانها للجوسق على حالتها واستقرارها كما اثبتتالدراسة الإنشائية عدم وجود خطورة على استقرار المئذنة وإتزانها فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة وقد تم عمل تصور لقمة المئذنة طبقا لطرازها المعمارى مقارنة بالمآذن التى تعود لنفس العصر ونفس الطراز وقد تم عمل اقتراحين لعلاج وترميم وصيانة المئذنة وتأهيل وتنسيق الموقع المحيط بها فى حالة استكمال الجوسق وقمة المئذنة وفى حالة بقاء المئذنة على حالتها بدون استكمال .

من خلال دراسة حالة المئذنة تم التوصل إلى ضرورة عمل سلم من الأرض للوصول إلى باب المئذنة على أن يتم عمله من مادة بخلاف الأحجار حتى لا نقع فى خطا التزوير ويفضل عمله من الحديد على أن يتم عزله ضد الرطوبة وألا يكون ملتصقا بالمئذنة مع دهانه بلون مقارب للون أحجار المئذنة على أن يرتكز على ركائز معدنية ويحاط بسياج معدنى بسيط يلائم الطراز المملوكى للمئذنة .

تم التوصل إلى ضرورة استكمال بعض الكتل الحجرية المفقودة أسفل باب المئذنة عند نهاية قاعدته حيث نزعت سابقا لتركيب قنطرة حديدية مائلة للصعود إلى باب المئذنة وهى غير موجودة الآن ولذلك يجب أن تستكمل هذه الكتل الحجرية المفقودة .

تم التوصل إلى ضرورة استبدال بعض كتل الأحجار التالفة والمتهالكة بقاعدة المئذنة بعد إظهارها وإزالة طبقات الردم عنها وذلك للمحافظة على استقرار المئذنة إنشائيا .
تم تنظيف السطح الحجرى لقاعدة المئذنة باستخدام الفرر المعدنية والمشارط ذات اليد الثابتة واليد المتحركة والفرش الناعمة والمتدرجة الخشونة ذات الألياف الصناعية مع استبعاد فرش السلك على أن تستخدم هذه الطريقة فى جميع أجزاء المئذنة .

من خلال الدراسة التجريبية لتنظيف وإزالة السناج تم استخدام المحلول رقم(A) المكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والأسيتون والتراى كلوروإيثيلين بالنسب ٢: ١ : ٢ : ١ على الترتيب فى بعض الأماكن لإزالة طبقات السناج كما تم استخدام المحلول(D) والمكون من الطولوين والأسيتون بنسبة ٢:١ على الترتيب فى تنظيف بعض المناطق الأخرى من السناج إلى جانب استخدام كمادة مورا لتنظيف بعض الأجزاء الأخرى وإزالة السناج منها .

تم إزالة بقع الزيت والشحم باستخدام محلول مكون من خليط من اسيتات الأميل والأسيتون بنسبة ٣:١ على الترتيب كما تم استخدام كل من محلولى التراى كلورو إيثيلين والزايلين لنفس الغرض .

تم إزالة بقع الألوان الموجودة بقاعدة المئذنة باستخدام محلول داى ميثيل فورماميد ومحلول كلوريد الميثيلين .
تبين من خلال الدراسة ضرورة إجراء عملية العزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة الأرضية باستخدام مادة Wacker SMK 550 وهو مستحلب مائى من السيلان والسيلوكسان يعتمد فى تكوين الطبقة الطاردة للماء على تفاعل التميوء فى وجود الرطوبة داخل الأحجار ويتم التنفيذ بأسلوب الحقن داخل الجدران من خلال ثقوب يتم عملها عند منسوب العزل تحت ضغط منخفض بحيث يسمح هذا الضغط فقط بانتشار المادة العازلة داخل الجدران .

تم استخلاص الأملاح من جدران المئذنة باستخدام أسلوب الكمادات الورقية حيث أن الملح السائد فى جدران المئذنة هو ملح الهاليت NaCl وهو من الأملاح القابلة للذوبان فى الماء وتم تكرار عملية الاستخلاص عدة مرات للحصول على نتيجة جيدة .

تم إجراء عملية التقوية للبنية الداخلية للأحجار المفككة والمتآكلة بمنطقة قاعدة المئذنة بواسطة مادة Tetra Ethoxy Silane (Ethyl Silicate) وتنتجها شركة فاكر تحت مسمى Wacker OH 100

تم تنظيف وملء اللحامات (العراميس) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار وترميمها باستخدام مونة من الجير وبودرة الحجر بنسبة ٢:١ مع استخدام ماء الجير Lime Water لإجراء علمية الخلط وإضافة قليل من الأكسيد الأصفر للحصول على لون مقارب للون أحجار المئذنة واستخدام المونة المكونة من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بنسب ٣:٢:١ على الترتيب

تم إجراء عملية العزل الرأسى باستخدام مادة Poly Methyl Hydro Siloxane وذلك للواجهات الحجرية للمئذنة حيث أعطت هذه المادة افضل النتائج للعزل خلال الجانب التجريبى لتقييم مواد التقوية والعزل المختلفة بالرسالة وذلك بأسلوب الرش وذلك لصيانة وحماية المئذنة من التلف مرة أخرى .

# التوصيـــــات

# التوصيـــــات

١- حصر عمليات التسجيل والتوثيق السابقة للآثار الإسلامية بعناصرها المعمارية المختلفة ومنـها المـآذن خاصة التسجيل الفوتوغرافى والمعمارى وأعمال العلاج والترميم والصيانة ووضعها فى ملـف خـاص بكل أثر يحفظ بالطرق المتطورة كالميكروفيلم والحاسب الآلى مع الاستعانة بما قام به مركـز تسـجيل الآثار الإسلامية والقبطية فى هذا المجال لأهمية ذلك عند القيام بعمليات الترميم والصيانة خاصـة فـى حالة وجود أجزاء مفقودة من الأثر .

٢- عمل خطة عامة لترميم وصيانة المآذن الأثرية الناقصة أو التى فقدت قمتها بالاستعانة بمصادر التسجيل و التوثيق المختلفة التى تم ذكرها بالرسالة لمعرفة تحديد الشكل والتكوين المعمارى الأصلى الأثرى لهذه المآذن ثم عمل خطة علاج وترميم وصيانة لكل مئذنة حسب حالتها وما تم الاستقرار عليه مـن خـلال مصادر التسجيل الموجودة والرأى الأثرى .

٣- تعتبر المآذن الأثرية من العناصر المعمارية الإسلامية الهامة ذات الطبيعة الخاصة لذلك لابد من الاهتمام بعمل الفحوص والتحاليل اللازمة وأعمال الرصد المساحى لتحديد مدى إتزانـها و إجـراء الدراسـات الخاصة بالتربة والأساسات بالإضافة إلى التحليل الإنشائى لدراسة تأثير الأحمال المختلفة عليها لأهميـة ذلك قبل إعداد خطط العلاج والترميم والصيانة الملائمة لكل مئذنة حسب حالتها .

٤- إجراء عمليات التسجيل والتوثيق الفوتوغرافى والمعمارى للمآذن الأثرية بجميع تفاصيلها لتسجيل الوضع الراهن لها وتحديد أولوياتها من حيث القيام بعمليات العلاج والترميم والصيانة.

٥- إزالة التعديات والاشغالات من الآثار الإسلامية لما تسببه لها من تلف مع عمل حرم لها، خاصة للمـآذن المستقلة أو المنفصلة عن المبانى الأثرية مثل مئذنة يشبك من مهدى موضوع الجانب التطبيقى للرسـالة حيث تعرضت لإلقاء القمامة والمخلفات وإحراقها حولها مما أدى إلى تعرضها للتلف .

٦- استخدام أجهزة الرصد الحديثة مثل جهاز محطة الرصد المتكاملة Total Station لرصد ميول المآذن الأثرية لخطورة ذلك حيث من الممكن فى حالة زيادة ميول المئذنة باستمرار أن تتعرض للسقوط وتتـم أعمال المراقبة للميول أثناء إجراء عمليات العلاج والترميم والصيانة لتأمين المئذنة كما يمكن اسـتخدام جهاز لمراقبة الميول ومدى إتزان المئذنة .

٧- فى حالة وجود عيوب إنشائية بالمآذن الأثرية مثل وجود ميول بالمئذنة أو الضعف الإنشـائى لبعـض أجزاء المئذنة ينصح بإجراء عمليات التدعيم الإنشائى لها وهى قائمة فى مكانها قدر الإمكان ولا نلجـأ إلى إجراء عمليات الفك وإعادة البناء للمآذن الأثرية إلا فى حالة الضرورة القصوى .

٨- إذا ما تطلبت حالة المئذنة الأثرية إجراء عملية الفك وإعادة البناء مرة أخرى يجب أن يتم ذلك بطريقة علمية تشمل إجراء عمليات التسجيل والتوثيق الأثرى كاملة بشكل تفصيلى مع إجراء عمليات الترقيم للقطع الحجرية وتوضيح علاقة كل قطعة بالقطع المجاورة لها وربطها بثوابت مساحية وتخزينها بعد الفك بطريقة علمية سليمة إلى أن يتم إجراء عملية إعادة البناء مرة أخرى للمئذنة وإعادتها إلى وضعها الأصلى الصحيح .

٩- استخدام محلول مكون من الكحول الإيثيلى والطولوين والأسيتون والترای كلورو إيثيلين بالنسب ١:٢:١:٢ على الترتيب لإزالة وتنظيف السناج وكذلك استخدام محلول مكون من الطولوين والأسيتون بنسبة ٢:١ على الترتيب بالإضافة إلى إمكانية استخدام كمادة مورا لنفس الغرض حيث تعطى نتيجة جيدة .

١٠- استخدام محلول مكون من خليط من اسيتات الأميل والأسيتون بنسبة ٣:١ لإزالة بقع الزيت والشحم كما يمكن استخدام محلولى الترای كلورو إيثيلين والزايلين لنفس الغرض .

١١- إزالة بقع الألوان الموجودة بقاعدة المئذنة باستخدام محلول دای ميثيل فورماميد Di-Methyl Formamide أو محلول كلوريد الميثيلين Methylene Chloride.

١٢- استخدام الكمادات الورقية فى استخلاص الأملاح القابلة للذوبان من جدران المئذنة .

١٣- استخدام مادة Ethyl Silicate فى تقوية الحجر الجيرى بمئذنة يشبك من مهدى .

١٤- استخدام مادة Poly Methyl Hydro Siloxane لعزل الأسطح الحجرية للمئذنة.

١٥- استخدام مادة Silo111 فى تقوية وعزل الأحجار الجيرية بمئذنة يشبك من مهدى .

١٦- استخدام المونة المكونة رقم (٧) من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بنسب ١:٢:٣ على الترتيب فى عملية الاستكمال للكتل الحجرية المفقودة أسفل باب المئذنة .

١٧- استخدام مادة Wacker SMK550 والتى تتركب كيميائيا من مستحلب مائى من السيلان والسيلوكسان Silane And Siloxane فى عملية العزل الأفقى لجدران المئذنة عن مصادر الرطوبة أو استخدام ما يماثلها فى التركيب الكيميائى ، وينفذ العزل بطريقة الحقن .

١٨- استخدام مونة مكونة من الرمل والأسمنت الأبيض ومسحوق الحجر الجيرى بنسب ١:٢:٣ على الترتيب فى ترميم اللحامات ( العراميس ) الأفقية والرأسية بين كتل الأحجار بالمئذنة واستخدام خليط من الجير ومسحوق الحجر الجيرى بنسبة ٢:١ مع استخدام ماء الجير فى عملية الخلط فى ترميم الطبقة السطحية للفواصل بين كتل الأحجار .

# قائمة المراجع

# أولاً : المراجع العربية


١- **إبراهيم عبيدو** : الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية ، منشأة المعارف ، الإسكندرية ، ١٩٩٥ .

٢- **احمد إبراهيم عطية**: دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها فى أعمال الترميم المعمارى للمبانى الأثرية فى مصر، رسالة دكتوراه، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٠ م.

٣- **أسامة مصطفى الشافعى** : مكانيكا التربة ، أساسيات وخواص التربة ، الجزء الأول، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، ١٩٨٤م .

٤- **أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا** : جيولوجية ومخاطر منطقة جبل المقطم ، القاهرة ، ١٩٩٧م.

٥- **أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا** : مخاطر السيول فى مصر ، مشروع إدارة مواجهة الكوارث ، القاهرة، أغسطس ، ١٩٩٣م .

٦- **الفريد لوكاس** : المواد والصناعات عند قدماء المصريين ترجمة زكى إسكندر ، محمد زكريا غنيم، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٤٥م .

٧- **أمين عبد الله عفيفى** : تاريخ مصر الاقتصادى والمالى فى العصر الحديث، القاهرة، ١٩٥٤ م.

٨- **ابن جبير الاندلسى ( أبو الحسين محمد بن احمد)** : رحلة أبن جبير ، نشر وليام رايت، ليدن، ١٩٠٧م .

٩- **احمد عاطف دردير** :السيول فى مصر ، منشؤها ، طبيعتها ومخاطرها، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا، المؤتمر الدولى لإدارة الكوارث (الحاضر والمستقبل)، أغسطس ، ١٩٩٤م .

١٠- **التقرير الفنى لمشروع دراسة المياه الجوفية بإقليم القاهرة الكبرى** ، وزارة الرى، مركز البحوث المائية ، يناير ، ١٩٩١م.

١١- **السيد عبد العزيز سالم** : المآذن المصرية ، نظرة عامة عن أصلها وتطورها منذ الفتح العربى حتى الفتح العثمانى ، مؤسسة شباب الجامعة للطباعة والنشر ، ١٩٥٩.

١٢- **السيد عبد الفتاح القصبى** : ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة ، ١٩٩٣م .

١٣- **السيد محمود البنا** : دراسة لأسس وقواعد استكمال الأجزاء الناقصة من المبانى الأثرية ، تطبيقاً على بعض المبانى الأثرية بمدينة القاهرة ، مجلة كلية الآثار ، العدد السابع ، ١٩٩٦م .

١٤- **الكود المصرى** لحساب الأحمال والقوى ، ١٩٩٣م .

١٥- **المجلس الاعلى للآثار** : تقرير عن الحالة الإنشائية لمئذنة إيدمر البهلوان ، مشروع تطوير القاهرة التاريخية ، أغسطس ٢٠٠٠م .

١٦- **الميثاق الدولى** لصيانة وترميم النصب والمواقع الأثرية ، مؤتمر فينسيا ، عام ١٩٦٤ م .

١٧- **برايس ووكر** : الزلازل ، ترجمة : د/ محمد فهيم سلطان ، سلسلة مطبوعات المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيزفيزيقية ، رقم (٨) ، ١٩٨٩م .

١٨- **بسام محمد مصطفى**: دراسة تأثير المحيط التخطيطى والعمرانى على التداعيات المعمارية للمبانى الأثرية وطرق ترميمها وصيانتها تطبيقا على وكالة بازرعة ومحيطها (القاهرة الفاطمية)، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

١٩- **بطرس عوض الله وآخرون** : فن البناء ، الجزء الثانى ، مطابع دار الشعب، ١٩٨٩م.

٢٠- **توصيات اليونسكو** بشأن صيانة المناطق التاريخية ودورها فى الحياة المعاصرة ، نيروبى ، ١٩٧٦ .

٢١- **توفيق أحمد عبد الجواد** : العمارة الإسلامية ، فكرة وحضارة ، مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٨٧م.

٢٢- **توفيق أحمد عبد الجواد** ، تاريخ العمارة والفنون الإسلامية ، بدون مكان نشر ، ١٩٧٠م .

٢٣- **ج.د. تيريل** : مبادئ علم الصخور ، ترجمة محمد كمال الدين العقاد وآخرون ، المركز القومي للإعلام والتوثيق ، ١٩٦٧.

٢٤- **ج.ف ولكنسون** : مقدمه فى علم الميكروبيولوجيا ، ترجمة : نبيل إبراهيم، المريخ للنشر، الرياض، ١٩٨٩م .

٢٥- **جيلان عباس** : آثار مصر القديمة فى كتابات الرحالة العرب والأجانب ، الدار المصرية اللبنانية ، ١٩٩٢م .

٢٦- **حسن إبراهيم حسن** : تاريخ الدولة الفاطمية فى المغرب ومصر وسورية وبلاد العرب، ، مكتبة النهضة المصرية ، الطبعة الثالثة ، ١٩٦٤م .

٢٧- **حسن أحمد شحاتة** : التلوث البيئى فيروس العصر ، المشكلة ، أسبابها وطرق مواجهتها، دار النهضة العربية للطبع والنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٨م .

٢٨- **حسن أحمد شحاته** : تلوث الهواء ، القاتل الصامت وكيفية مواجهته ، مكتبة الدار العربية للكتاب القاهرة،٢٠٠٢م .

٢٩- **حسنى نويصر** : العمارة الإسلامية فى مصر ( عصر الأيوبيين والمماليك )، مكتبة زهراء الشرق ، ١٩٩٦م .

٣٠- **حسين محمد أمين وآخرون** : فن البناء ، الجزء الأول ، فى أصول الصناعة لأعمال البناء والنحت، المطابع الأميرية ، ١٩٩٠م .

٣١- **حسين محمد صالح**: مواد البناء، الطبعة السادسة ١٩٥٩ م. القاهرة .

٣٢- **خليل إبراهيم واكد** : أسباب إنهيارات المبانى ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٣م .

٣٣- **ر.ف شابمان** : الحشرات ، التركيب والوظيفة ، ترجمة : محمد لطفى، الدار العربية للنشر والتوزيع ١٩٩٨م.

٣٤- **ربيع حامد خليفة** : فنون القاهرة فى العصر العثمانى (١٥١٧ - ١٨٠٥م )، مكتبة نهضة الشرق ، جامعة القاهرة ، ١٩٨٥ م .

٣٥- **زكى محمد حسن** : تطور المآذن ، مجلة الكتاب ، سبتمبر، ١٩٤٦م .

٣٦- **سامى أحمد عبد الحليم** : الأمير يشبك من مهدى وأعماله المعمارية بالقاهرة ، رسالة ماجستير ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٧٠م .

٣٧- **سعاد ماهر** : مساجد مصر وأولياؤها الصالحون ، الجزء الثالث ، وزارة الأوقاف المجلس الأعلى للشئون الإسلامية ، ١٩٨٠م .

٣٨- **سعاد ماهر** : مساجد مصر وأولياؤها الصالحون ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الجزء الرابع: ١٩٨١م .

٣٩- **سعاد ماهر** : الفنون الإسلامية ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٨٦م .

٤٠- **سعد الدين النقادى**: أسس الترسيب وتطبيقاته ، سلسلة الكتب الدراسية ، رقم (٧) ، جامعة أسيوط، ١٩٦٠م.

٤١- **سعد الدين النقادى** : أسس الجيولوجيا ، الهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية ، طبعة ثانية ، ١٩٦٧م .

٤٢- **سعد زكى محمد بلبل** : الأعمال المساحية الخاصة برصد ثبات العناصر الإنشائية، ندوة مشروع ترميم الجامع الأزهر الشريف ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب، سبتمبر ١٩٩٨م .

٤٣- **سعد على زكى** : ميكروبيولوجيا الأراضى،مكتبة الإنجلو المصرية،القاهرة، ١٩٨٨م.

٤٤- **سهير أبو العلا ومحمد نور الدين** : نهر النيل والتلوث ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا ، سلسلة قضايا بيئية معاصرة ، ٢٠٠٠م .

٤٥- **سيدة إسماعيل الكاشف وحسن احمد محمود** : مصر فى عصر الطولونيين و الأخشيديين ، مجموعة الألف كتاب، مكتبة الأنجلو المصرية ، ١٩٦٠م .

٤٦- **شاهندة فهمى كريم** : جوامع ومساجد أمراء السلطان الناصر محمد بن قلاوون ، رسالة دكتوراه، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٤ م .

٤٧- **شريف على أبو المجد** : أساليب المعاينات وأسباب الانهيارات ، دار النشر للجامعات المصرية، مكتبة الوفاء القاهرة ، ١٩٩٣م .

٤٨- **صالح لمعى مصطفى** : أسلوب إعداد مشروعات ترميم الآثار ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات التراث المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى والمهنى، المقاولون العرب ، فبراير، ١٩٩٣ م.

٤٩- **صالح لمعى مصطفى** : التراث المعمارى الإسلامى فى مصر ، دار النهضة العربية، بيروت، طبعة أولى ، ١٩٨٤م .

٥٠- **طارق المرى** : استخدام الحاسب الآلى فى إعداد وتسجيل مشروعات الآثار ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات الطراز المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب، فبراير،١٩٩٣م .

٥١- **طارق المرى** : منهجية إعداد مشروعات الترميم، ندوة صيانة وترميم المنشآت الأثرية ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير، ١٩٩٨م .

٥٢- **طه الولى** : المساجد فى الإسلام ، دار العلم للملايين ، بيروت طبعة أولى، ١٩٨٨م.

٥٣- **عادل سعد حرفوش** : أسس وقواعد ترميم المبانى الأثرية بين النظرية والتطبيق ، تطبيقاً على مئذنة مدرسة الأمير خاير بك بشارع باب الوزير ، رسالة ماجستير ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة، ٢٠٠٢ م .

٥٤- **عادل محمد رفعت** : مقدمة فى علم الصخور ، دار القلم ، الكويت الطبعة الثالثة ، ١٩٧٩م .

٥٥- **عاصم محمد رزق** : مراكز الصناعة فى مصر الإسلامية من الفتح العربى حتى مجيئ الحملة الفرنسية ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٨٩م .

٥٦- **عاطف الشبراوى** : دراسة إتزان المبانى القديمة دورة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير ٢٠٠٠م.

٥٧- **عبد العظيم رشوان** : جيولوجيا ومواصفات أحجار البناء وأحجار الزينة ، ندوة تكنولوجيا استخدام الأحجار الطبيعية ( الرخام والجرانيت)، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، يناير ، ١٩٩٩م.

٥٨- **عبد الفتاح أحمد الشاذلى** : فيزياء الجوامد ، الجزء الأول ، الدار العربية للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولى ٢٠٠٣م .

٥٩- **عبد اللطيف أبو العطا البقرى** : الإنشاء والإنهيار، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٤م

٦٠- **عبد الله كامل موسى** : تطور المئذنة المصرية بمدينة القاهرة من الفتح العربى وحتى نهاية العصر المملوكى، دراسة معمارية زخرفية مقارنة مع مآذن العالم الإسلامى ، رسالة دكتوراه ، قسم الآثار الإسلامية ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٤م .

٦١- **عبد المجيد عباس يوسف** : أعمال الأساسات ، مشروع ترميم الجامع الأزهر الشريف ، معهد التدريب الفنى، المقاولون العرب ، سبتمبر، ١٩٩٨م .

٦٢- **عبد المجيد عباس يوسف**: حالات دراسية لترميم الآثار، ندوة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير، ٢٠٠٠م.

٦٣- **عبد المعز شاهين** : ترميم وصيانة المبانى الأثرية والتاريخية ، وزارة المعارف ، الإدارة العامة للآثار والمتاحف ، المملكة العربية السعودية ، ١٩٨٢ .

٦٤- **عزت عبد الشافى** : نحو صيانة بيئية متكاملة للآثار الإسلامية ، ندوة طرق حماية وترميم المنشآت ذات التراث المعمارى الإسلامى ، معهد التدريب الفنى المقاولون العرب ، ١٩٩٣م .

٦٥- **عصام محمد سيد أحمد** : دراسة تأثير التلف العضوى على أحجار بعض المنشآت الأثرية ، رسالة ماجستير، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٩م .

٦٦- **عطيات إبراهيم السيد** : الرخام فى مصر فى عصر دولة المماليك البحرية ، دراسة أثرية فنية ، رسالة دكتوراه ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٤ م.

٦٧- **عفيف البهنسى** : العمارة عبر التاريخ ، دار طلاس للدراسات والترجمة والنشر ، سوريا ، ١٩٨٧ م .

٦٨- **على عبد المنعم شمس** : حفر وتشكيل الخشب ، كلية فنون تطبيقية ، ١٩٩٦م .

٦٩- **على غالب** : مراحل إعداد مشروعات ترميم الآثار المعمارية ، تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى والمهنى ، المقاولون العرب ، فبراير ، ٢٠٠٠م .

٧٠- **عمر محمد الصادق** : الصناعة وتلوث البيئة فى مدينة القاهرة ، دراسة تطبيقية على منطقتى شبرا الخيمة وحلوان ، ندوة عن الجغرافيا ومشكلات تلوث البيئة ، الجمعية الجغرافية المصرية ، أبريل ، ١٩٩٢م.

٧١- **عمرو رضوان** : المبادئ العلمية وأساسيات ميكانيكا التربة ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع ، القاهرة ، ١٩٩٤م .

٧٢- **فريد شافعى** : العمارة العربية فى مصر الإسلامية ، المجلد الأول ، عصر الولاة، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩٤.

٧٣- **كمال الدين سامح** : العمارة الإسلامية فى مصر ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، الطبعة الرابعة، ١٩٩١م.

٧٤- **كير . استورك** : الأشنان ، ترجمة : عبد العزيز جاد ، الرياض ، ١٩٩٨ م .

٧٥- **لبيب سمير**: دراسة تاريخية لإستغلال الخامات المعدنية فى الصحراء الشرقية فى مصر الفرعونية والنشاط الاقتصادى المتصل بها، رسالة ماجستير، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية، ١٩٨٢ م .

٧٦- **ماجد لطفى الركايبى** : أحواض الصرف الأساسية فى مصر ، تقرير عن السيول التى حدثت فى مصر خلال الفترة من ١٩٧٤حتى ١٩٨٩م .

٧٧- **مبادئ لاهور** لصيانة الآثار الإسلامية ، باكستان ، ١٩٨٠ .

٧٨- **مبروك سعد النجار** : تلوث البيئة فى مصر ، المخاطر والحلول ، الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٩١م .

٧٩- **محاضر وتقارير لجنة حفظ الآثار العربية** لسنتى ١٨٨٧م ، ١٨٨٨م ، رقم (٥) .

٨٠- **محمد الشرقاوى** : الزلازل وتوابعها ، أسبابها ، مخاطرها ، تاريخها ، التنبؤ بها ، مواجهتها ، مركز الأهرام للترجمة والنشر ، ١٩٩٢م .

٨١- **محمد رشاد الدين مصطفى** : المساحة الطبوغرافية والجيوديسية ، دار الراتب الجامعية ، ١٩٨٤م .

٨٢- **محمد سميح عافيه** : التعدين فى مصر قديماً وحديثاً ، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٨٥م.

٨٣- **محمد صبرى** : منهج تشكيل وصياغة المعادن، الفرقة الرابعة، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة ١٩٩٦م.

٨٤- **محمد عبد الهادى محمد وبدوى محمد إسماعيل** : تلف المبانى الأثرية بالقاهرة وطرق صيانتها وتأهيلها ، المؤتمر العربى لترميم وإعادة تأهيل المنشآت ، المجلد الثانى ، القاهرة ، سبتمبر، ١٩٩٨م .

٨٥- **محمد عبد الهادى وآخرون** : التربة مصدر من مصادر تلف المنشآت الأثرية بمدينة القاهرة ، مجلة كلية الآثار، العدد السابع ، ١٩٩٧م .

٨٦- **محمد عز الدين حلمى** : علم المعادن ، مكتبة الأنجلو المصرية، الطبعة الأولى، القاهرة ، ١٩٦١م.

٨٧- **محمد كمال خلاف** : دراسة علاج وصيانة المحاريب الأثرية بمدينة القاهرة تطبيقاً على محاريب مزخرفة بالفسيفساء ، رسالة ماجستير ، قسم ترميم الآثار ، كلية الآثار، جامعة القاهرة ، ٢٠٠٠م .

٨٨- **محمد مأمون السعيد وآخرون** : الهزات الأرضية ، أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا، الملتقى العلمى للتخفيف من أخطار الكوارث (الزلازل– الحرائق – السيول) ، القاهرة ، نوفمبر، ١٩٩٣م .

٨٩- **محمود أحمد** : دليل موجز لأهم الآثار العربية بالقاهرة ، القاهرة ، ١٩٨٤م .

٩٠- **محمود توفيق سالم** : أساسيات الجيولوجيا الهندسية ، دار الراتب الجامعية ، بيروت، ١٩٨٥م.

٩١- **محمود سامى عبد السلام** : دراسة تلوث الهواء فى منطقة حلوان ، القاهرة، ١٩٩٦م.

٩٢- **مختار رسمى ناشد**: قدماء المصريين واقتصاديات علم الجيولوجيا، رسالة العلم، المجلد ٣٩، العدد١، دار مصر للطباعة ، القاهرة ، مارس ، ١٩٧٢ م .

٩٣- **مركز الدراسات الأثرية** : المجلس الأعلى للآثار ، ملفات الآثار الإسلامية .

٩٤- **مصطفى شيحه** : الآثار الإسلامية فى مصر من الفتح العربى حتى نهاية العصر الأيوبى ، مكتبة النهضة المصرية ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٢م .

٩٥- **مصطفى كمال عاشور** : حقن التربة بالأنابيب دار النشر للجامعات ، مصر ، الطبعة الأولى ، ١٩٩٩م .

٩٦- **مصطفى كمال عاشور** : مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات (١) مجلة المهندسين العدد رقم (٥٣٧)، ديسمبر ٢٠٠٠م .

٩٧- **مصطفى كمال عاشور**: مشاكل التربة الانتفاخية تحت الأساسات (٢) ، مجلة المهندسين ، نقابة العدد (٥٤٠)، مارس٢٠٠١ م .

٩٨- **مصطفى محمود سليمان** : الزلازل ، من فجر التاريخ إلى اليوم ، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٩٦م .

٩٩- **معاذ أحمد عبد الله وعلى غالب أحمد** : دليل إعداد المشروعات وصيانة وترميم الآثار ، هيئة الآثار المصرية وزارة الثقافة ، ١٩٩١م .

١٠٠- **ممدوح على صبرى** : إتزان الأثر والتربة ، ندوة الرؤية العلمية للحفاظ على الآثار، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ١٩٩٠ م .

١٠١- **منظمة العواصم والمدن الإسلامية** : أسس التصميم المعمارى والتخطيط الحضرى فى العصور الإسلامية المختلفة ، دراسة تحليلية على القاهرة ، ١٩٩٠م.

١٠٢- **منير محمد كمال** : أشكال العيوب بالمبانى الأثرية وأسبابها ، دورة تحليل وتقويم المبانى القديمة والأثرية وطرق ترميمها ، معهد التدريب الفنى ، المقاولون العرب ، فبراير، ٢٠٠٠م .

١٠٣- **نعمت إسماعيل علام** : فنون الشرق الأوسط فى العصور الإسلامية ، دار المعارف، ١٩٨٩م.

١٠٤- **هزار عمران و جورج دبوره** : المبانى الأثرية ترميمها ، صيانتها ، والحفاظ عليها ، القاهرة ، ١٩٩٨ م .

١٠٥- **وزارة الصناعة والثروة المعدنية** : المواصفات القياسية المصرية للرخام والجرانيت، الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسى وجودة الإنتاج ، ملحق رقم (١) .

١٠٦- **وزارة الصناعة والثروة المعدنية** : المواصفات القياسية المصرية للرخام والجرانيت، الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسى وجودة الإنتاج ، ملحق رقم (٢) .

١٠٧- **يحيى وزيرى** : موسوعة عناصر العمارة الإسلامية ، الطبعة الأولى ، مكتبة مدبولى ، القاهرة ، ١٩٩٩م.

## ثانياً : المراجع الأجنبية

108- **Abd El–Aty, Y,Y.A:** Structural Analysis Of Historical Masonry Islamic Buildings Using Computer Numerical Modeling Techniques With An Application on Prince Saraghatmash, Conservation Department, Faculty Of Archaeology, Cairo Uni., 1999.

109- **Aboud, F.B.:** Structural Considerations In The Restoration Of Islamic Monuments In Cairo, In The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May, 1993.

110- **Abouseif, D.B.:** The Minarets Of Cairo, The American Uni. In Cairo Press, 1987.

111- **Adel A. Abdel- Gawad And Sherif A. Mourad:** On The Structural Stability And Repair Of Historical Monuments, Facu., Of Eng. Cairo Uni., 1996.

112- **Al-Minabbawy. M.:** Restoration Work In Cairo, Past, Present And Future In: The Restoration And Conservation Of Islamic Monuments In Egypt, The American Uni. In Cairo Press, 1995.

113- **Almesberger, D. et al:** Ultrasonic Testing Method For The Characterization Of Pietra D'Istria Structural Elements, In : Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.2, Venice, 2000.

114- **Altieri, A**: Biological Patinas On The Limestones Of Loches Romanic Tower, (Touraine, France) In: 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

115- **Ashurst , J. :** Mortars For Stone Buildings , In : Conservation Of Building And Decorative Stone, London, 1990.

116- **Ashurst, J. And Ashurst, N**., Cleaning of Stone Buildings, Stone Masonry, English Heritage, Technical Hand Book, Vol.1, England, 1988.

117- **Ashurst, J. And Ashurst, N.:** Cleaning Marble, In : Practical Building Conservation, Vol.1, Stone Masonry, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988.

118- **Ashurst, J. And Ashurst, N.:** Control Of Damp In Buildings In: Practical Building Conservation , Vol.1, Stone Masonry, English Heritage, Technical Hand Book, England, 1988.

119- **Ashurst, J.:** Cleaning And Surface Repair, In: Conservation Of Historic Stone Buildings And Monuments, National Press, Washington, D.C., 1982.

120- **Ausset, P. And Delmonte, M.:** Early Mechanisms Of Development Of Sulfated Black Crusts On Carbonate Stone, In: 9th International Congress On Deterioration And Conservation, Venice, 2000.

121- **Bertero, M.:** Foundation Improvement By Jet Grouting Of A Historical Buildings. In Cervia, Italy, Experimental Investigation In The Arab Contractors Training Institute On Protection And Restoration Of Islamic Monuments May, 1993.

122- **Binda, L. et al:** Determination Of Moisture Content In Masonry Materials: Calibration Of Some Direct Methods In 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

123- **Blair, B.E.:** Physical Properties Of Mine Rock, Part IV,U.S. Bur. Mines Rep. Inv.5130,1956.

124- **Blott, H. et al:** Origin Of Sedimentary Rocks, Prentice- Hall, London, 1980,.

125- **Boss, M. et al:** Modified Elastic Silicic Acid Applied On Natural Stone And Tests Of Their Efficiency, In: Proceeding Of The 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, Germany, 1996.

126- **Bowles, J.E.:** Engineering Properties Of Soil, MC Grow. Hill, New York, 1986.

127- **Boynton, R.S.:** Chemistry And Technology Of Lime And Limestone, Johnwiley And Sons INC. New York, Second Edition, 1980.

128- **Bradley, S.M. And Hanna, S.B.:** The Effect of Soluble Salts Movement On The Conservation Of An Egyptian Limestone Standing Figure, In: Conservation Of Stone, IIC, Bologna, 1986.

129- **Bradly , S.M:** Evaluation Of Organo Silanes For Use In Conservation Of Sculpture Displayed Indoors In Deterioration And Conservation Of Stone 5th International Congress, Lousanne, 1985.

130- **Briggs, M.S.:** Mohammedan Architecture In Egypt And Palestine, Da Capopress, N.T.,1974.

131- **Browning , B.L.:** Methods Of Wood Chemistry, Vol.1, New York, 1967.

132- **Charola, A.E.:** Chemical- Physical Factors In Stone Deterioration, Durability Of Building Materials, 5,1988.

133- **Chave, K.E.:** Aspects Of The Biogeochemistry Of Magnesium Calcareous Marine Organisms, Jour. Geol., Vol. 62,1954.,

134- **Christine, B.:** Assessment of Quantitative Salt Analysis By The Water Extraction Method On Lime Mortars, In:8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, Germany, 1995.

135- **Clarke, B.L.:** Some Recent Research On Cleaning External Masonry In Great Britian , In: Treatment Of Stone, Bologna, 1972.

136- **Clifton, J:** Stone Consolidating Materials, Astatus Report Technical Note 1118, National Bureau Of Standards, 1980.

137- **Clock, W. S.** : Algae As Limestone Makers And Climate Indicators, Amer. Jour. Sci, No.6, 1923.

138- **Comitte, De Conservation** Des Monuments D'Lart Arabe , Exercises 1936-1940, Le Cairo, Imprimerie Nationale, Bulak, 1944.

139- **Comuffo, D.:** Pores, Capillaries And Moisture Movement In The Stone, In: Stone Material In Monuments, Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993.

140- **Cooper, M. And Larson, J. :** The Use Of Laser Cleaning To Preserve Patina On Marble Sculpture, The Conservator, Vol.20,1996.

141- **Cooper, M. et al:** Characterization Of Laser Cleaning Limestone optics and Laser Technology, London, 1995.

142- **Cooper, M:** Laser Cleaning, London, Second Ed, 2001.

143- **Core, H.A. And Cote, W.A. :** Wood Structure And Identification, Syracuse University Press, New York, 1994,

144- **Creswell ( K . A . C ):** The Evolution of the Minaret, 1926.

145- **Cristina, S. et al:** Analytic Methodologies For Carbon Compound Identification : Leaning Tower And Baptistery Of Pisa, In 9th International Congress On Deterioration And Conservation of Stone, Venice, 2000.

146- **Croci, G:** Damages And Restoration Of Monuments In Cairo, In III International Symposium Of The Conservation of Monuments In The Mediterranean, Basin, Venice, 1994.

147- **Das, B.M:** Advanced Soil Mechanics S, Mc Grow- Hill, New York, 1983.

148- **De Wit, M.H. et al:** Measuring Methods Of Moisture In Solids Didactic Seminar On Rising Damp In Masonry, CNR- PFED, Bari, September, 1991.

149- **Desai, C.S. And Abel, J.F**: Introduction Of The Finite Element Method, A numerical Method For Engineering Analysis, Van Nastr And Reinhold Ltd, USA, 1972.

150- **Diaz- Pache, F:** Early Mechanisms Of Development Of Sulphated Black Crusts On Carbonate Stone, In: 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

151- **Eams, A.J.:** An Introduction To Plant Anatomy, Mc Grow- Hill Book CO. Inc, London, 1988.

152- **Elizabeth, G:** The Effect Of Sand Stone, Limestone, Marble And Sodium Chloride On The Polymerization Of MTMOS Solution In: 9th Inter. Cong, Berlin, Germany, 1996.

153- **Elizabith, A.B.:** Characterization Of Surface Morphology Of Corbonate Stone, Venice, 2000.

154- **El-Mofty, S.E.:** Growth And Formation of New Crystals on Ancient Stone And Mortar Mixes, Journal of The Egyptian Society of Engineers, Vol.42,Issue No.1, 2003, pp.34-36

155- **Fanfani, G.:** The Italian – Egyptian Restoration Center Work In The Mevlevi Complex In Cairo, In: The Restoration And Conservation Of Islamic Monuments In Egypt, the American Uni. In Cairo Press, 1995.

156- **Fassina, V.:** General Criteria For The Cleaning Of Stone, Theoretical Aspects And Methodology Application, In: Stone material In Monuments: Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, May, 1993.

157- **Fatma, M. Helmi,** The Role Of Recent Techniques And Materials In Restoration And Conservation Of Monuments, Training Institute Arab Cont. Co. 1998.

158- **Feilden, B.M.:** Conservation Of Historic Buildings, Butter Worth Scientific, London, 1982.

159- **Ferone, C. And Pansini, M**: Preliminary Study On The Setup Of Mortars, Displaying Biocidal Activity In :9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

160- **Fitzmaurice, J.** The Care Of Antiques, Arlington Books, London, 1980.

161- **Fitzner, B.:** Porosity Properties And Weathering Behavior Of Natural Stones Methodology And Examples, In: Stone Material In Monuments: Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993.

162- **Forbes R.J.:** Studies In Ancient Technology, Vol. 8, Leiden, 1989,

163- **Gregory, J.W.:** Constructive Water Falls, Geol. Mag., 27, 1911.

164- **Grissom, C.A.:** Weiss, N.R.: Alkoxy Silanes In The Conservation Of Art And Architecture 1861- 1981, Art And Archaeology Technical Abstracts, Vol. 18,No,1,1981.

165- **Hams, D.D.:** Protection And Europe German Commission For Unesco, Bonn, Vol.12,1980.

166- **Harrison, W.H. And Bowler, G.K.:** Aspects Of Mortar Durability, London, 1990,

167- **Hassaid, S.:** The Sultan's Turrels, Cairo, 1939.

168- **Helmi, F.M.** Methodologies And Scientific Investigation Techniques For Study Treatment And Conservation Of Stone Monuments, In: Stone Material In Monuments Diagnosis And Conservation, Second Course, Crete, 1993.

169- **Hewell, P.B. And Taylor, R.K.:** Ground Water Movements And Their Effects On Structures, Surry University, New York, 1984.

170- **Honeyborn, D**: Weathering And Decay Masonry In: Conservation of Building And Decorative Stone, Vol.2, London,1990.

171- **Hozayen, S**: Introduction To Finite Element Method, Diploma Lectures Notes, Structural Dep. Faculty Of Engineering, Cairo Uni, P.1.

172- **Hristova, J. And Todarov, V.:** Consolidation Effect Of Wacker Silicones On The Properties Of Sandy Limestone, In: 8th Inter. Cong., Berlin, Germany, 1996.

173- **Janes, M.S. et al**: Microbial Environmental Monitoring Of Stone, Culture Heritage, In:9th International Congress on Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

174- **Jedjeiwska, H.:** Removal Of Soluble Salts From Stone, In Conservation Of Stone 2ed, Vol. IIC, 1970.

175- **Jeffers, P.E.:** The Building Of America, Brick And Clay Record, 169, 1976.

176- **Johnston And Williamson, E.D.:** Role Of Inorganic Agencies In The Deposition Of Calcium Carbonate, Jour. Of Geo.,24, 1916.

177- **Jumikis, A. R:** Soil Mechanics, Von Nostrand Co. INC, Princeton, New Jersey, U.S.A, 1962.

178- **Kabesh, M.L And Hamada, M.:** Limestone Neighborhood, Geological Survey Of Egypt, 1956.

179- **Koblischek, P.J:** The Consolidation Of Natural Stone With A Stone Strengthener On The Basis Of Poly Silici Acid- Ethyl Ester, In: 8th International Congress, Berlin, Germany, 1996.

180- **Komar, A.:** Building Materials And Components, Mir publishers, Moscaw,1979.

181- **Lahee, F.H.:** Field Geology, 2nd ed., London , 1923.

182- **Lane – Pool, S.:** The Art Of The Saracens In Egypt, Chapman And Hall Ltd., London, Reprint From 1886.

183- **Lanterna, G:** Mineral Inorganic Treatments For The Conservation Of Calcareous Artifacts, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

184- **Laudi, S.:** The Conservation Of Wooden Objects, Report, Victoria And Albert Museum Publication, London, 1972.

185- **Lea, F.M.:** The Chemistry Of Cement And Concrete, Chemical Publishing, London, 1971.

186- **Leith, S.D. et al:** Limestone Characterization To Model Damage From Acidic Precipitation Effect Of Pore Structure On Mass Transfer Environmental Science And Technology, London, 1996.

187- **Lewcock, R., :** Architects, Craftsmen And Builders, Materials And Techniques In: Architecture Of The Islamic World, Its History And Social Meaning, London, 1978.

188- **Lewin, S.Z.:** The Conservation Of Limestone Objects And Structures In: Study Of Weathering Stone, Vol.1, International Council Of Monuments And Cites, Paris, 1968.

189- **Lewin, S.Z:** The Mechanism Of Masonry Decay Thorough Crystallization, London, 1984.

190- **Lindborg, U. And Dunakin, R.C.:** Thermal Stress And Weathering Of Carrara, Pentelic And Ekberg Marble , In:9th International Congress on Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

191- **Linke, W.:** Solubility Of Inorganic And Metal Organic Compounds Vol.1. Van Nostrand, London, 1958.

192- **Luciana And Tiziano, M,:** Marble, The History Of A Culture Foctson File Publications, New York, Oxford, England, 1985.

193- **Mark, L.:** Masonry, How To Care For Old And Historic Brick And Stone, London, 1988.

194- **Martin, H.D.:** Adhesion Mechanisms In Masonry Mortars, Clemson Uni., S.C.,1965.

195- **Martin, L. Et Al:** Cairo Area, Geol. And Arch., Egypt, Petrol. Expt. Soc. Of Libya, 1964.

196- **Martinet, G.:** Gres Et Mortiers Du Temple D'Amon a Karnak (Haute Egypte), Etude Des Alterations Aide a La Restauration Laboratoire Central des Ponts Et Chaussees , 1st- Section Des Publications , Paris, 1992.

197- **Maxova, I:** Changes In Properties Of Stone Treated With Historical Or Modern Conservation Agents, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

198- **Merrill, G.P.:** Stones For Building And Decoration, John Wiley, New York, 1930.

199- **Mills, R.:** Structural Failure And Repair, In: Conservation Of Buildings And Decorative Stone, Vol.2, London, 1990.

200- **Moroni, B. And Poli, G:** Corrosion Of Limestone In Humid Air Containing Sulphur And Nitrogen Dioxides: A model Study In: 9th International Congress on Deterioration And Conservation Of Stone, Venice,2000.

201- **Munnikendam, R.A:** Acrylic Monomer Systems For Stone Impregnation, New York, 1970.

202- **Munnikendam, R.A.**: A New System For The Consolidation Of Fragile Stone, Studies In Conservation, No. 18, 1973.

203- **Newman, A.J.:** Improvement Of The Drilling Method For The Determination In Building Materials, BRE Current Paper CP 22/75, London, 1994.

204- **Nicholson, P.:** The New Practical Builder, Second Edition, Thomas Kelly, London, 1992.

205- **Norman, R.W.:** Development And Assessment Of A Conservation, Treatment For Calcareous Stone, In: 9th Inter Congress, Venice, 2000.

206- **O'chonaghue. M.:** The Encyclopaedia Of Minerals And Gemstones, Ores, London, 1985.

207- **Odum, E.P.:** Ecology The Link Between The Natural And Social Sciences, Holt Rineleart And Winston, New York, 1989.

208- **Oestrreish, D.M.:** The Ground Water Rise In The East Of Cairo And Its Impact On Historic Buildings Geoscientific Research In Northeast Africa, Thorweihe And Sehandelmeier, Rotterdom,1993.

209- **Oliver, A:** Dampness In Buildings, B.S.P., Professional Books, London, 1988.

210- **Palmer, L.A., And Parsons, D.A.**: A study Of The Properties Of Mortars And Bricks And Their Relation To Bond, London, 1965.

211- **Papida, S.et al.:** The Use Of Sound Velocity Determination For The Non Destructive Estimation Of Physical And Microbial Weathering Of Limestones And Dolomites, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.1, Venice, 2000.

212- **Paviani, A:** Developments In Jet- Grouting Techniques, In: The Arab Contractors Training Institute, On Protection And Restoration Of Islamic Monuments, May, 1993.

213- **Peroni, S. et al.,:** Lime Based Mortars For The Repair Of Ancient Masonry And Possible Substitutes, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981.

214- **Peterson, S.:** Lime Water Consolidation, In Mortars, Cements And Grouts Used In The Conservation Of Historic Buildings, Proceedings Of ICCROM Symposium, November, 1981.

215- **Pettijohn, E.J.:** Sedimentary Rocks, C.B.S Publishers And Distributors, India, 1984.

216- **Pirsson And Schuchert :** Text Book Of Geology, Part2, 2ed., 1924.

217- **Poludhi, P. et al.:** Metal Process Engineering, Mir Publishers , Moscow, 1970 .

218- **Principles Of Architecture Design And Urban Planning** During Different Islamic Eras, New York, 1988.

219- **Puertas, A. And Blanco, M.T.:** Mortars For Restoration, Decay Due To Salt Crystallization, In: 8th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Berlin, Germany, 1996.

220- **Recheis. A. et al.** : Ultrasonic Measurements On Weathering Alpine Marble, Astudy On Field Exposed Samples And On The Medival Marble. Portals Of Schloss Tirol / South Tyrol, Italy, In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Vol.2, Venice, 2000.

221- **Richardson, B.A**: Defects And Deterioration In Buildings, E.F. Span, London, 1990.

222- **Rischord, M.P.:** How To Know The Minerals And Rocks, New York, 1986.

223- **Rivoria, G. T.:** Moslem Architecture, Its Origins And Development, Oxford, 1923.

224- **Robert, L. Bates And Julia, A. Jackson:** Glossary of Geology, American Geological Institute, Virginia, 1980.

225- **Robinson, G.C:** Characterization Of Bricks And Their Resistance To Deterioration Mechanisms, In: Conservation of Historic Stone Building and Monuments, Washington, D.C., 1982.

226- **Said ,R. :** The Geology of Egypt , Amsterdam , El Sevier Publ. Co., 1962.

227- **Sameh, K. :** Evolution of Minarets In Egypt ,Cairo, 1974.

228- **Shaffer, R. J.:** The Weathering Of Natural Building Stones, Harrison And Sons, London, 1980.

229- **Shafi, I F. :** West Islamic Influences, London, 1988.

230- **Sherif, A. Mourad And Ashraf M. Osman:** Seismic Risk Appraisal For Islamic Minarets, Faculty Of Eng. Structural Eng. Dep., Cairo Uni., 1994.

231- **Sherif, A. Mourad And Ashraf, M:** Minarets, Facu, Of Eng. Stru, Eng. Department Cairo, Uni., 1994.

232- **Shukri, N.M.:** On Cylindrical Structures And Coloration Of Gabal Ahmar Near Cairo, Egypt, Bull. Fac. Sci., Cairo Uni, Vol. 32, 1954.

233- **Siano, S. et al:** In Filed Tests And Operative Applications Of Improved Laser Techniques For Stone Cleaning, In: 9th Inter. Cong., Venice, 2000.

234- **Siano, S. et al:** Integration of Laser With Conservation Techniques In Marble Restoration, In 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

235- **Sidel, H,:** Results Of Laser Cleaning On Encrusted Oolithic Limestone Of Angel Sculptures From The Cologne Cothedral In: 9th Inter. Cong., Venice, 2000.

236- **Siegesmund, S. et al:** Control Of Marble Weathering By Expansion And Rock Fabrics, In: 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

237- **Sizov, B.:** Evaluation Of Moisture Content Measurements in Stone In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

238- **Speweik, J.P.:** The History Of Masonry Mortars In America, National Lime Association , Arlington, VA, New York, 1995.

239- **Standard , B.:** Classification Of Wood Preservatives And Their Method Of Application, London, 1982.

240- **Strouge , A :** Eocene Stratigraphy of the Eastern Greater Cairo Gabal Mokattem Helwan Area , Mid. East Res. Cent . ,Ain Shams Uni. Sc. Res . Ser . Vol. 5 , 1985.

241- **Swedan, A.H.:** A Note On The Geology Of Greater Cairo Area, Annals Of The Geological Of Survey Egypt, Vol. XVII, 1995.

242- **Tam,A. et al:** Laser Cleaning Techniques For Removal Of Surface Particles, Journal Of Applied Physics, Vol. 71, No.7, 1992.

243- **Theovlakis P. And Tzamalis, A.:** Effectiveness Of Surface Treatments For Sedimentary Limestone In Greece, In: 9th International Congress, Venice, 2000.

244- **Thickett, D:** Asessment Of The Perforvmance Of Silanes Treatments Applied To Egyptian Limestone Sculptures Displayed In A museum Environment, In :9th International Congress, Venice, 2000.

245- **Thomachot, C. And Jeannette, D.:** Petrophysical Properties Modification Of Strasbourg's Cathedral Sandstone By Black Crusts, In: 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

246- **Tomanek, A.:** Silicones And Industry Munich, Hanser, Second Ed.2002.

247- **Torroca, G:** Porous Building Materials, Materials Science For Architecture Conservation, ICCROM, 1982,.

248- **Veloccia, M.L.**: Conservation Problems Of Mosaic In Situ, In: Mastics No.1, 1977.

249- **Vicini, S.:** Chemistry For Conservation Of Cultural Heritages Application Of Institute Polymerization For The Consolidation And Protection In : Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

250- **Vitina, I. et al:** Problems Of Soluble Salts In The Monuments Of Latvia, In: 8th Inter Cong., Berlin, Germany, 1996.

251- **Weber, H. And Zinsmeister, K.:** Conservation Of Natural Stone Guidelines To Consolidation, Restoration And Preservation, Expert, Verlag, Germany, Second Ed.2000,.

252- **Weber, H.,:** Conservation And Restoration Of Natural Stone In Europe, APT Conference In Toronto, 1984.

253- **Winder, S.L.:** Physical Properties Of Mine Rock, Part11, U.S. Bur. Mines Rep. INV.4727,1950.

254- **Winkler, E.M:** Stone Properties Durability In Man's Environment, Springer- Verlag, New York, 1973.

255- **WU, Y.L. et al:** Aerosol Science And Technology, New York, 1992.

256- **Zendri, E. et al.:** Characterization And Physio- Chemical Action Of Condensed Water On Limestone Surfaces In: Proceedings Of The 9th International Congress On Deterioration And Conservation Of Stone, Venice, 2000.

257- **Zilio, G.F. And Szpyrkowicz., L:** Air Pollution Monitoring Net Work For The Venice Region, Preliminary Results For The Rain Quality, Toxicological And Environmental Chemistry,29,1991.

## Fifth

A plan was made to restore, treat and conserve the minaret of Yashbak from Mahdy as follows:

(1) The architectural restoration includes building exterior stairs connecting the ground and the minaret door, completing the stones under the minaret door, and replacing damaged blocks.

(2) Fine restoration which includes

A- Mechanical cleaning processes for dust and salt efflorescence crystals on the surface

B- Removing soot by chemical cleaning by using two solutions, the first solution consists of Ethyl alcohol, Tuluin, acetone and tri-chloroethylene by 2:1:2:1 successively, the second solution consists of tuluin and acetone by 1:2 successively in addition mora poultice, tri- chloro ethylene and xylene.

C- Removing grease, oil, and stains by using di-methyl formamide solution and methylene chloride for removing color stains.

D- Horizontal isolation of minaret walls against moisture sources by injection method using Wacter SMK 550.

E- Using paper polutices in extracting dissolved salts from the minaret walls.

F- Consolidating the disintegrated and damaged stone surfaces of the minaret using Ethyl silicate by flooding method.

G- Cleaning and filling the joints between stone blocks using mortars consisting of lime and limestone powder by 1:2 using lime water in mixing mortar.

H- Vertical isolation of stone surfaces of the minaret by using poly methyl hydro siloxane by flooding method for the conservation of the minaret from further deterioration

(7) A structural analysis for the minaret is conducted by digital models of computer to detect the stresses caused by the vertical and horizontal loads. The maximum compression stress was 28 $kgm/cm^2$, and the maximum tension stress was 9.6 $kgm/cm^2$. In the case of completing gawsak area and the top of the minaret. The result was that compression stress was 9.6 $kgm/cm^2$ and the tension stress was 1.7 $kgm/cm^2$. These are safe loads and don't affect the minaret balance as the minaret stones can bear compressive strength up to 270 $kgm/cm^2$. And tension strength up to 24 $kgm/cm^2$.

(8) By conducting a study of the surrounding environment of the minaret. There is no drainage network and no fire machine the area is poor in services, the roads are narrow and rough there are random buildings in the area.

## Fourth

An experimental study for treatment and conservation is carried out to choose the best materials and methods for application in treatment, conservation, and restoration of Yashbak from Mahdy minaret as follows:

(1) A study was carried out for cleaning and removing soot. We found that two solutions gave the best results the first solution consists of Ethyl alcohol, Tuluin, acetone and tri- chloroethylene by 2:1:2:1 successively, the second solution consists of tuluin and acetone by 1:2 successively in addition mora poultice

(2) A study for evaluation the materials used in consolidation and isolation of stones and mortars. Ethyl silicate is the best material for stone consolidation, the best material for vertical isolation of the stone surfaces is poly methyl hydrosiloxane. Silo 111 is the best material for both consolidation and, isolation. As for horizontal isolation for moisture sources, the Waker SMK 550 is the best material.

(3) Samples from limestone, mortar, and salt are diagnosed by [XRD] and the result is as follows

A- The limestone consists of Calcite mineral, card No. (5-0586) in addition to Quartz mineral, card No. (5-0490) and Halite mineral, card No. (5-0628).

B- The mortar used consists of gypsum mineral, card No. (6-0046), In addition to Calcite mineral, card No.(5-0586), Quartz mineral, card No.(5-0490), Dolomite mineral, card No.( 11-078), and Halite mineral, card No.(5-0628).

C- We found Halite salt, card No.(5-0628) and gypsum salt, card No. (6-0046).

(4) We recorded the physical properties and we found the bulk density of limestone is 2.14 $gm/cm^3$, water absorption is 9.18.%, and the porosity is 19.48%. As for the compressive strength of stones, if reached 270 $kgm/cm^2$ and the tensile strength 24 $kgm/cm^2$. It is measured by using ultrasonic technique. Concerning the moisture content, it is between 0.4% and 7.8%

(5) A microbiological study for the limestones is conducted and we acknowledged cocci bacteria and two kinds of fungi, namely, Aspergitlus Sp. And pencilium Sp. The total account of bacteria is (98x104) cell per gm and frngi (12x103 ) cell per gm.

(6) For soil studies we discover that the depth of the minaret foundations is 3,3 metres in the natural ground level. The ground water level is measured by Besometer in the minaret. It is found to be 3.2 metres.

The mechanical analysis of soil grains measuring the soil texture, the liquid, flexibility , shrinking limit, percentage of calcium carbonate, total dissolved salts concentration, the [Ph] value, the concentration of ions of dissolved salts. The results varied from layer to layer in the soil. This reflects that filler soils on which, the minaret is built are different and heterogeneous in properties so its structural behavior is different.

## Chapter Five

This chapter is the practical part of the thesis. It deals with the treatment, conservation, and restoration of the Yashbak from Mahdy minaret in the mosque of El- Emam Al- Layth (monument No. 286) this is studied as follows:

### First

A historical, architectural and archaeological description is made, registering the present state of the minaret and the archaeological documentation by photographically recording, architectural recording and survey work.

### Second

The survey recording of the minaret by using total station unit. The result is finding little inclinations that doesn't affect the structural balance of the minaret. The minaret balance is watched carefully by differential micro accelerometer tiltmeter unit. The result is that a horizontal movement in direction [X] was found [X=north-east/south-west] by 0.9 centigrade. As for the direction [y] it is 1.12 centigrade.

### Third

Diagnosis and analysis for building materials, the soil, the foundations and deterioration phenomena of the minaret is conducted as follows:

(1) When the limestone is diagnosed by the polarizing microscope, it is found that it is a numulite limestone containing mainly the fine grained calcite and including foramenifera and numulite fossils, iron oxides, clay minerals, algae, and some fine grained quartz.

(2) When the limestone is diagnosed by [SEM], it is found that the calcite crystals were worn out by the effect of the dissolving of some components. The stones lost the binding materials between the grains by the effect of salt crystallization, moisture effect, and air pollution.

## Chapter Three

This chapter deals with the factors and phenomena of minaret deterioration. It includes physiochemical factors which include moisture, temperature changes, ground water, salt crystallization, the effect of winds and air pollution in addition to studying soil deterioration and its effect on minarets as well as loads and its impact on deterioration whether the vertical or horizontal ones. The natural disasters, the biological deterioration, and man- made deterioration are studied with examples of the phenomena of deterioration caused by the previous factors.

## Chapter Four

This chapter sheds light on the methods of treatment, conservation and restoration of minarets. This includes the studies that precede treatment, conservation, and restoration processes as well as a historical and archaeological study, registration, and documentation of the present state of the minarets. The survey work and the balance and verticality of minarets, the diagnosis and analysis of the minaret building materials are tackled. The chapter includes the study of soil and foundations and the structural analysis using the digital models of computer. It also deals with the treatment, conservation and restoration of minarets, which include reducing the ground water level and the structural restoration. It tackles treating difficult soils and consolidation of foundations, architectural restoration including completing the lost and missing parts, undoing and reconstruction processes, and replacement of damaged stone blocks as well as completing decoration and engraving parts in addition to fine restoration for minarets including cleaning processes of minarets, the horizontal isolation of foundations and walls, the removing and extraction of salts, isolation and consolidation of surfaces to conserve the minarets from further deterioration.

# SUMMARY


This thesis is divided into five chapters as follows:

## Chapter One

This chapter studies the linguistic meaning of the term "minaret". It also deals with the birth of the archaeological minarets as well as its first appearance in the Islamic architecture. The functions of the archaeological minarets and the architectural origin of the minarets in Egypt are also analyzed. The chapter sheds light on the development of Islamic minarets in Egypt throughout the different Islamic periods. It includes the structural system of the minarets, and its components which include the basis, the transition zones, the entrances, the holes, and the tops which cover the minarets of Cairo and the balconies as well as the decoration of the minarets.

## Chapter Two

This chapter deals with the building materials of the minarets which include the geological study of Cairo and EL- Emam Al-Layth area which includes the minaret of Yashbak from Mahdy- the applied part of the thesis. The chapter studies the limestones used in building the minarets including its kinds and its mechanical and physical properties as well as the relation between these properties and the deterioration of minarets. It studies the fired bricks and its methods of manufacture and its preparation and use in building minarets. The chapter studies marble and its sources, its kinds, and its role in building the minarets, woods and its kinds and sources and the use of lead sheets in covering the tops of Ottoman minarets are also talked. The mortars and used in building minarets are studied.

## Key Words

1- Restoration

2- Archaeological Minarets

3- Physio-chemical Factors

4- Soil

5- Earthquakes

6- Structural Analysis

7- Consolidation of Foundations

8- Architectural Restoration

9- Fine Restoration

10- Conservation

Cairo University
Faculty of Archaeology
Conservation Department

# Study of Treatment, Restoration and Conservation of Archaeological Minarets in Cairo Applied on One Selected Archaeological Minaret.

*Thesis Presented For The Fulfillment Of The Degree Of Ph.D
In Restoration And Conservation Of Antiquities.*

*By*

**Mohamed Kamal Khallaf**

*Ass. Lecturer at Conservation
Department, Faculty of Archaeology
Cairo University (Fayoum Branch)*

*Supervised by*

**Prof. Dr. Fatma M. Helmi**

*Professor Of Study Of Archaeological Materials
And Their Conservation
Previous Head Of Conservation Department
Faculty Of Archaeology, Cairo University.*

**Dr. Soad M. Hasan**

Ass. Professor of Islamic
Antiquities
Faculty of Archaeology,
Cairo University

**Dr. Gamal A. Mahgoub**

Ass. Professor of Conservation of Antiquities
and Vice Dean of Faculty of Archaeology for
Education and Students Affairs.
Cairo University (Fayoum Branch)

2004